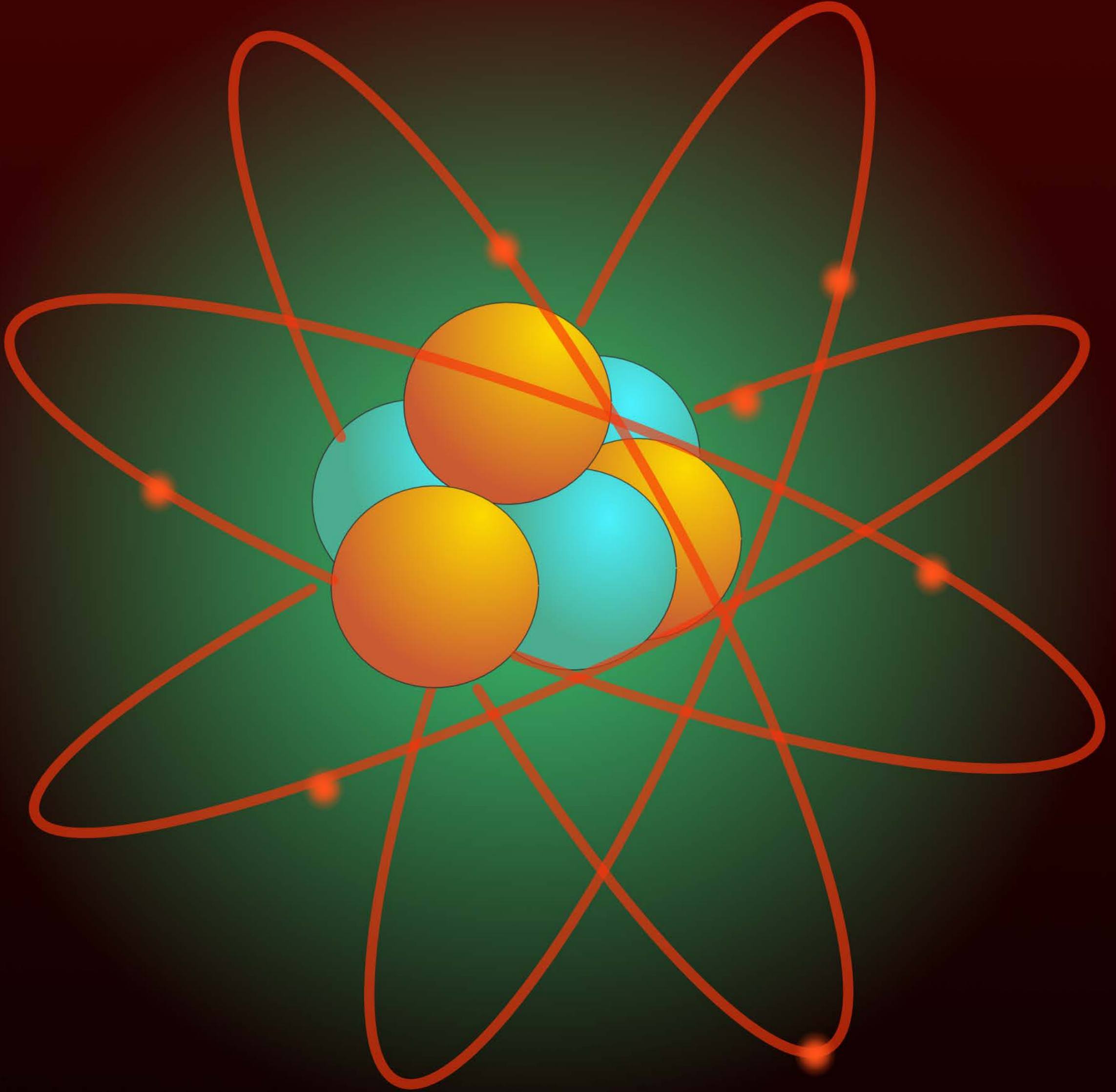
గుళిక రసాయనం

(క్వాంటం కెమిస్ట్రీ)



వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు

గుళిక రసాయనం

(క్వాంటం కెమిస్ట్రీ)

వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు

విషయసూచిక

తొలిపలుకు

గుళిక రసాయనం అనబడే క్వాంటం కెమిస్ట్రీ

ఈ పుస్తకం రసాయన శాస్త్రం అధ్యయనం చేసే విద్యార్థులని ఉద్దేశించి రాసినది. అలాగని ఇది పాఠ్య పుస్తకం కాదు. జనరంజక శైలిలో రాసినదీ కాదు. మధ్యే మార్గంలో ఉంటుంది. అమెరికాలో ఉన్నత పాఠశాలలో ఉన్న 12 వ తరగతి విద్యార్థులు ఈ స్థాయిలో ఉన్న పాఠ్యాంశాలని చదువుతారు. తెలుగు దేశంలో మొదటి సంవత్సరం కళాశాల విద్యార్థులకి ఇది అందుబాటులో ఉంటుందనే అనుకుంటున్నాను.

ఇది 20 వ శతాబ్దపు ఆరంభ దశలో భౌతిక, రసాయన శాస్త్రాలలో జరిగిన విప్లవాల కథ. ఏదో నవల చదివేసినట్లు కాకుండా కాసింత దృష్టి నిలిపి చదివితే అర్థం అవుతుంది. కథలోని పతాక సన్నివేశాలు చదివి ఆనందించాలంటే గణితం సహాయం లేకుండా సాధ్యం కాదు. అందుకని గణిత సమీకరణాలు అక్కడక్కడ వాడక తప్పలేదు. ఆ సమీకరణాలు ఎలా ఉత్పన్నమయాయో అర్థం కాకపోయినా అవి చెప్పే కథ అర్థం చేసుకుంటే శాస్త్రం లోతుగా అర్థం అవుతుంది.

పేరుకి రసాయన శాస్త్రం అని అన్నాను కానీ, ఈ పుస్తకంలో ఎక్కువగా కనిపించేది రసాయన శాస్త్రానికి కావలసిన భౌతిక శాస్త్రపు పునాదులు, ఆ శాస్త్రంలో కనిపించే వాదాలు (theories),

ప్రయోగాలు (experiments), వాటిని ఆకళింపు చేసుకోడానికి కావలసిన గణితం. భౌతిక శాస్త్రంలో వచ్చిన "గుళిక విప్లవం" (quantum revolution) రసాయన శాస్త్రాన్ని ఎలా ప్రభావితం చేసిందో తెలుసుకోవాలంటే ఈ పుస్తకం చదవండి.

రసాయన శాస్త్రంలో కీలకమైన అంశాలు చాల ఉన్నాయి. వాటిల్లో అతి ముఖ్యమైనది రసాయన ప్రతిక్రియ (chemical reaction). ఈ ప్రతిక్రియలు మన చుట్టూ అహరహరం జరుగుతూనే ఉంటాయి. మనం గాలి పీల్చినప్పుడు గాలి లోని ఆమ్లజని రక్తం లోని హిమోగ్లోబిన్ తో రసాయన సంయోగం చెంది జీవకణాలకి చేరుతుంది. మనం వంట వండేటప్పుడు జరిగే రసాయన ప్రతిక్రియల వల్లనే ఆహారం తిని ఆనందించడానికి వీలుగా తయారవుతుంది. ఖనిజాల నుండి లోహాలని వెలికి తీయడానికి రసాయన ప్రతిక్రియలు అవసరం అవుతాయి. మెండలియవ్ యొక్క ఆవర్తన పట్టిక (Periodic Table) అవగాహనలోకి రాకపోతే రసాయన ప్రతిక్రియలు, ప్రక్రియలు అధ్యనం చెయ్యడం దరిదాపు అసాధ్యం.

తరువాత చెప్పుకోదగ్గది "రసాయన బంధం" (chemical bond) అనే భావం. ఒక ఇంటి కొడుకు మరొక ఇంటి అల్లుడు అయి రెండు సంసారాల మధ్య బంధం ఎలా అల్లుతాడో (అల్లుడు అనే మాటకి అర్థమే అది!) అదే విధంగా ఒక అణువుకి చెందిన ఎలక్ట్రానులు పొరుగున ఉన్న మరొక అణువుతో కలిపే బంధమే రసాయన బంధం. ఈ రసాయన బంధం ఏమిటో సమగ్రంగా అర్థం కావాలంటే

మూలకాల అణువులలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు అనే పరమాణువుల అమరిక అర్థం అవాలి. ఈ అమరిక అర్థం కావాలంటే ఎలక్ట్రానులు శక్తిని సంతరించుకుని ఉత్తేజిత శక్తి స్థానాలకి (excited states) వెళ్ళినప్పుడు వాటి స్థితిని వర్ణించే సాంకేతిక భాష అర్థం కావాలి. అప్పుడే మెండలియవ్ యొక్క ఆవర్తన పట్టిక సమగ్రంగా అర్థం అవుతుంది.

ఎలక్ట్రానుల స్వభావం, ప్రవర్తన ఆకళింపు చేసుకోవాలంటే భౌతిక శాస్త్రంలో తలెత్తిన గుళిక వాదం (Quantum Theory) అర్థం కావాలి. గుళిక వాదం సహాయంతో రసాయన శాస్త్రం చదివినప్పుడు అది గుళిక రసాయనం (Quantum Chemistry) అవుతుంది.

కంటికి కనబడని అణుగర్భంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుల నడవడి అవగాహన కావాలంటే నమూనాల వాడకం తప్పనిసరి. గుళిక రసాయనాన్ని అధ్యయనం చెయ్యడానికి ఎక్కువ సహకరించే నమూనా పేరు ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన తరంగ సమీకరణం (wave equation), దానిని పరిష్కరించగా వచ్చే తరంగప్రమేయం (wavefunction) అనే ఊహ. ఈ తరంగ సమీకరణాన్ని రసాయన శాస్త్రంలో మనకి ఎదురయే అణువుల మీద, బణువుల మీద ప్రయోగించడం చాల ప్రయాసతో కూడిన పని. అందుకని అనేక రకమైన సూక్ష్మీకరణలు, బద్దింపు పద్ధతులు, నమూనాలు వాడుతూ ఉంటాం. ఇవన్నీ సమగ్రంగా అర్థం కావాలంటే ఈ ఊహలు ఎలా పుట్టేయో తెలియాలి. అందుకని ఈ పుస్తకంలో క్వాంటం వాదానికి పునాదులు ఎలా పడ్డాయో చర్చించేను.

బాగా ప్రాచుర్యంలో ఉన్న ఒక నమూనా ప్రకారం అణువుని పొరలు, పొరలుగా ఉన్న ఉల్లిపాయలా కానీ, అరటి పువ్వులా కానీ ఉహించుకుంటాం. ఈ నమూనాలో నడిబొడ్డున ధనావేశం ఉన్న కేంద్రకం (nucleus) ఉంటే దాని చుట్టూ పొరల మాదిరి ఋణావేశం ఉన్న ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. అణువు కట్టడి అరటిపువ్వులా ఉంటుందని ఊహించుకుంటే ఆ పువ్వు యొక్క ఎర్రటి రెక్కలు ఒలవగా ఒలవగా లోపల తెల్లటి శిఖరం కనిపించినట్లే అణువులో పొరలు పొరలుగా కోశాలు (shells) లో ఎలక్ట్రానులు అమరి ఉంటే లోపల ఎక్కడో అణువు యొక్క కేంద్రకం ఉంటుంది. ఈ అమరికలోని బాహ్య కోశం (outer shell) లో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు మూలకం యొక్క రసాయన లక్షణాలని నిర్ణయిస్థాయి. కనుక రసాయన శాస్త్రం అర్థం కావాలంటే ఎలక్ట్రానుల అమరిక గురించి తెలుసుకోవాలి. అదే ఈ ప్రయత్నం.

రసాయన శాస్త్రంలో బంధాల పాత్ర ఏమిటో చూద్దాం. నీరు పల్లమెరుగు అన్నట్లే ప్రకృతిలో అణువులు ఎప్పుడూ స్థిర నిశ్చలత కొరకు తాపత్రయం పడుతూ ఉంటాయి. స్థిర నిశ్చలత అంటే ఏమిటి? ఒక రకమైన విశ్రాంతి స్థితి లేదా చైతన్యం తక్కువగా ఉన్న స్థితి. ఈ విశ్రాంతి ఎప్పుడు వస్తుంది? ఆ అణువు బాహ్య కోశం ఎలక్ట్రానులతో నిండుగా ఉన్నప్పుడు. మనం మన పొట్ట నింపుకుందుకి ఎలా తాపత్రయం పడుతున్నామో అణువులు కూడా వాటి బాహ్య కోశం ఎలక్ట్రానులతో నిండుగా ఉండాలని తాపత్రయం పడుతూ ఉంటాయి. ఆ బాహ్య కోశం ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోగానే ఆ అణువు చలాకీతనం కోల్పోయి స్థబ్దుగా తయారవుతుంది. ఈ చిన్ని ఉదాహరణతో రసాయన శాస్త్రంలో ఎలక్ట్రానులకి

కీలకమైన పాత్ర ఉందని తెలుస్తోంది కదా! ఈ కీలకమైన పాత్ర అర్థం చేసుకుందుకు చేసిన ప్రయత్నమే ఈ పుస్తకం!

వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు

ప్లెజన్‌టన్, కేలిఫోర్నియా

2018

1. మెండలియెవ్ మేడ

అవి భారతదేశం అంధకార యుగంలో మగ్గుతూన్న రోజులు. బ్రిటిష్ వాళ్ల పట్టు పెరగడంతో మొగల్ సామ్రాజ్యం అంతిమ ఘట్టం చేరుకుంటోంది. సిపాయిల తిరుగుబాటు, ప్రప్రథమ భారత స్వాతంత్ర సమరానికి ఉద్యాపన మరొక 23 సంవత్సరాలలో జరగబోతోంది. ఇదే సమయంలో, రష్యాలో ఒక భాగమైన సైబీరియాలో, డిమిత్రీ ఇవనొవిచ్ మెండలియెవ్ (1834–1907) అనే పిల్లాడు పుట్టేడు. అతని తండ్రికి కలిగిన కుచేల సంతానంలో ఈ కుర్రాడు కడసారం. తండ్రి గుడ్డితనం వల్ల కొంత, పిన్న వయస్సులోనే మరణించడం వల్ల కొంత కారణంగా సంసారాన్ని పెంచి, పోషించే బాధ్యత ఆ తల్లి మీద పడింది.

అందరిలోకీ చురుగ్గా చదువుకుంటూన్న డిమిత్రీకి పెద్ద చదువులు చెప్పించాలనే పట్టుదలతో ఆ తల్లి మూలని పడి, బూజులు పడుతూన్న వారి సొంత గాజు కర్మాగారాన్ని పునరుద్ధరించి అందులో పని చెయ్యడం మొదలు పెట్టింది. విధి వశాత్తు ఆ కర్మాగారం అగ్ని ప్రమాదంలో కాలి బూడిద అయిపోయింది. ఎన్ని కష్టాలు పడ్డైనా సరే డిమిత్రీకి మంచి అవకాశాలు కల్పించాలనే పట్టుదలతో ఆమె సంసారాన్నంతటినీ సైబీరియాలో వదిలేసి, కుర్రాడిని తనతో పాటు గుర్రం ఎక్కించుకుని, యురల్ పర్వతాలు దాటుకుని, 1400 మైళ్ల దూరంలో ఉన్న మాస్కో నగరానికి తీసుకెళ్లి “చాకు లాంటి

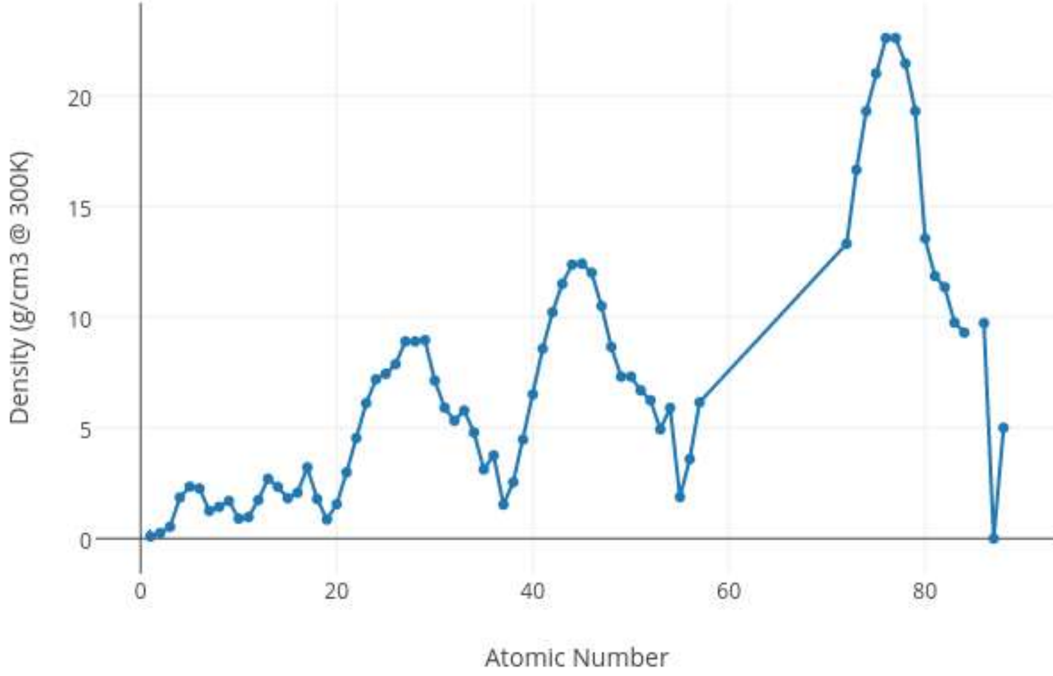
కుర్రాడు, కాలేజీలో చేర్చుకోండి" అని అక్కడ అధికారులతో మొర పెట్టుకుంది. వాళ్లు ఖాళీలు లేవు పొమ్మన్నారు.

చేసేది లేక అక్కడ నుండి మరొక 400 మైళ్లు ఆ గుర్రం మీదే ప్రయాణం చేసి సెయింట్ పీటర్స్ బర్గ్ అనే ఊరు వెళ్లింది ఆ తల్లి. అక్కడ ఉన్న విశ్వవిద్యాలయంలోనే ఆ కుర్రాడి తండ్రి చదువుకున్నాడు కనుక వారు కనికరించి ఇతనిని చేర్చుకున్నారు. ఈ లోకంలో తన పని పూర్తి అయిపోయిందంటూ ఆ మాతృమూర్తి స్వర్గస్తురాలయింది. తన కోసం తల్లి పడ్డ కష్టాలు కళ్ళారా చూసినవాడు కావున ఆ కుర్రాడు ఎంతో బుద్ధిగా, ఎంతో శ్రద్ధగా, ఎంతో ఏకాగ్రతతో చదువుకుని అందరి మెప్పు పొందేడు. అందుకనే కాబోలు రష్యా చరిత్రలోనే అగ్రగణ్యుడైన శాస్త్రవేత్తగా డిమిత్రీ మెండలియెవ్ పేరు ప్రతిష్ఠలు తెచ్చుకున్నాడు.

మెండలియెవ్ అప్పుడప్పుడే ఉదయించి, సద్యోజాతంగా ప్రకాశిస్తూన్న రసాయన శాస్త్రం అధ్యయనం చేసేడు. ఆ రోజుల్లో (1860) దరిదాపు 60 రసాయన మూలకాల (chemical elements) ఉనికి శాస్త్ర వేత్తలకి తెలుసు. ఈ 60 మూలకాల పేర్లని ఏదో ఒక వరసలో అమర్చి రాసుకోవాలి కదా. కొందరు అకారాది క్రమంలో రాసుకున్నారు. కొందరు ఆ మూలకాల అణు భారాలు (atomic masses) ఒక ఆరోహణ క్రమంలో వచ్చేలా రాసుకున్నారు. మరికొందరు ఆ మూలకాల ధర్మాలలో పోలికలు ఉన్నవాటిని గుంపులు గుంపులుగా రాసుకున్నారు. ఉదాహరణకి లిథియం, సోడియం,

పొటాసియం, రుబిడియం అనే నాలుగు మూలకాలు ఫ్లోరీన్, క్లోరీన్, బ్రోమీన్, అయొడీన్ లతో సంయోగం చెందడానికి ఉత్సుకత చూపుతాయి. అదే విధంగా బెరిలియం, మెగ్నీసియం, కేల్సియం, స్ట్రాంటియం అనే మూలకాల సాంద్రత (density), బాహుబలం (valency), మొదలైన లక్షణాలలో ఒక బాణీ కనిపిస్తుంది. ఇలాగే సల్ఫర్, సెలీనియం, టెల్లూరియం అనే మూలకాల లక్షణాలలో కూడ ఒక బాణీ ఉంది. ఇలా చెదురుమదురుగా ఉన్న చాల బాణీల గురించి ఆనాటి శాస్త్రవేత్తలకి తెలుసు. ఉదాహరణకి 1817 లో జెర్మనీ దేశపు యోహాన్ డోబరైనర్ (Johann Dobereiner) లిథియం, సోడియం, పొటాసియం ఒక గుంపులోనూ, క్లోరిన్, బ్రోమిన్, అయోడిన్ ఒక గుంపులోనూ ఉండాలని ప్రతిపాదించేడు. ఇంగ్లండుకి చెందిన జాన్ నూలండ్ (John Newland) 1864 లో అష్టక సూత్రం (Law of Octets) అంటూ ఒక బాణీని వర్ణించేడు.

కొన్ని మూలకాల లక్షణాలలో బాణీలు కనిపించడంలో విడ్డూరం ఏమీ లేదు కాని వాటి అణు భారాలకీ, ఆ మూలకాల లక్షణాలకీ మధ్య ఏదో బాదరాయణ సంబంధం ఉన్నట్లు అనుమానం అంకురించడం విశేషమే! ఈ అనుమానాలు, ఊహలు కేవలం గాలిలో కట్టిన మేడలు కావు. ఉదాహరణకి సాంద్రత (density) అణు సంఖ్య (atomic number) తో ఎలా మారుతుందో బొమ్మలో చూపెడుతున్నాను.



బొమ్మ 1. అణు సంఖ్యతో సాంద్రత మారుతున్న విధానం.

ఈ బొమ్మని బట్టి అణు సంఖ్య పెరుగుతున్నకొద్దీ సాంద్రత కొంతవరకు పెరిగి, ఒక శిఖరం చేరుకొని, కొంతవరకు తరిగి, ఒక అఖాతంలోకి వెళ్లి, మరల పెరిగి, మరొక పెద్ద శిఖరం చేరుకొని, మరల తరిగి, పైకి కిందకి వెళుతున్నది కదా. అంతే కాదు. బొమ్మలో కుడి పక్కకి వెళుతున్న కొద్దీ శిఖరాల ఎత్తు పెరుగుతోంది, అఖాతాల లోతు తరుగుతోంది. ఇది విస్మరించడానికి వీలు లేని బాణీ; కొట్టొచ్చినట్లు కనబడుతోంది. ఇలా పునరావృత్తమవుతున్న లక్షణాన్ని ఆవర్తన సూత్రం (Peridic Law) అంటారు.

ఇదొక్కటేకాదు. ఇంకా బాణీలు ఉన్నాయి. రసాయన శాస్త్రంలో ఒకముఖ్యమైన భావం పేరు వేలన్సీ (valency). లేటిన్ లో ఈ మాటకి అర్థం "బలం." తెలుగులో "బాహుబలం" లేదా "బాలం" అందాం. అణు సంఖ్యతో బాలం పెరుగుతుందా? తరుగుతుందా? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానంగా దిగువ పట్టిక చూడండి. ఈ పట్టికలో అణు సంఖ్య పెరుగుతూ ఉంటే చంద్రకళలలా బాలం పెరుగుతూ, తరుగుతూ కనిపించడం లేదూ? ఇది ఆవర్తన సూత్రానికి మరొక ఉదాహరణ.

అణు సంఖ్య	మూలకం	గుర్తు	బాలం	అణు సంఖ్య	మూలకం	గుర్తు	బాలం
1	ఉదజని	H	1	11	సోడియం	Na	1
2	రవిజని	He	0	12	మెగ్నీసియం	Mg	2
3	లిథియం	Li	1	13	అల్యూమినం	Al	3
4	బెరీలియం	Be	2	14	సిలికాన్	Si	4
5	బోరాన్	B	3	15	భాస్వరం	P	3
6	కర్బనం	C	4	16	గంధకం	S	2
7	నత్రజని	N	3	16	హరితం	Cl	1
8	ఆమ్లజని	O	2	18	ఆర్గాన్	Ar	0
9	ఫ్లోరీన్	Fl	1	19	పొటాసియం	K	1
10	నియాన్	Ne	0	20	ఖటికం	Ca	2

బొమ్మ 2. కొన్ని మూలకాల పేర్లు వాటి బాలాలు

ఆ రోజులలో అణు వాదం ఇంకా పుంజుకోలేదు. అణువు నిర్మాణ శిల్పం అర్థం కాని రోజులవి. అంతా గందరగోళంగా ఉండి చీకట్లో చిందులాటలా ఉన్న సమయంలో మెండలియెవ్ రంగంలో ప్రవేశించేరు. అప్పటివరకు తెలుసున్న మూలకాల పేర్లని రకరకాలుగా పేర్చడం మొదలు పెట్టేరు ఆయన. మాటవరసకి, ఆయన తయారు చేసుకున్న మొట్టమొదటి అమరికని బొమ్మ 3 లో చూపెడుతున్నాను, ఈ మాత్రం పనిని మెండలీయెవ్ సమకాలికులు చాల మంది చేసేరు.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.
			Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

బొమ్మ 3. మెండలియవ్ ప్రయత్నించిన ఒక అమరిక

తరువాత మెండలియెవ్ మూలకాలని జాతులవారిగా విడగొట్టి, వాటిని చదరంగపు బల్ల మీద గదులలా ఒక కాగితం మీద గదులు గీసి, ఒకొక్క గదిలో ఒకొక్క మూలకం పేరు వచ్చేలా అమర్చేరు. మాటవరసకి, చదరంగం బల్ల మీద ఎడం నుండి కుడికి వెళ్లే అడ్డు వరుసని అందాకా “అరుస” (row) అందాం. ఈ అరుసనే రసాయన పరిభాషలో "ఆవర్తు" (period) అని అంటారు. అదే విధంగా, పై నుండి కిందకి వెళ్లే నిలువు వరుసని “నిరుస” (column) అందాం. పరిభాషలో ఈ నిరుసని గుంపు (group) అని కానీ కుటుంబం (family) అని కానీ అంటారు. ఈ రకంగా మెండలియెవ్ 1871 లో అమర్చిన అమరికని బొమ్మ 4 లో చూపెడుతున్నాను. ఈ బొమ్మలో అడ్డు వరుసలని 1,2,3,...12 అనిన్నీ, నిలువు వరుసలని, I, II,...VIII అనిన్నీ రాసేం.

Mendeleev's Periodic Table of 1871[1]

	I — R_2O	II — RO	III — R_2O_3	IV RH_4 RO_2	V RH_3 R_2O_5	VI RH_2 RO_3	VII RH R_2O_7	VIII — RO_4
1	H 1							
2	Li 7	Be 9.4	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19	
3	Na 23	Mg 24	Al 27.3	Si 28	P 31	S 32	Cl 35.5	
4	K 39	Ca 40	? 44	Ti 48	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe, Co, Ni, Cu 56, 59, 59, 63
5	Cu 63	Zn 65	? 68	? 72	As 75	Se 78	Br 80	
6	Rb 85	Sr 87	? Yt 88	Zr 90	Nb 94	Mo 96	? 100	Ru, Rh, Pd, Ag 104, 104, 106, 108
7	Ag 108	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 125	I 127	
8	Cs 133	Ba 137	? Di 138	? Ce 140	?	?	?	?, ?, ?, ?
9	?	?	?	?	?	?	?	
10	?	?	? Er 178	?? La 180	Ta 182	W 184	?	Os, Ir, Pt, Au 195, 197, 198, 199
11	Au 199	Hg 200	Tl 204	Pb 207	Bi 208	?	?	
12	?	?	?	Th 231	?	U 240	?	

బొమ్మ 4. మెండలియవ్ మెరుగుపరచిన మరొక అమరిక

ఈ బొమ్మని పరిశీలించి చూస్తే కొన్ని మౌలికమైన విషయాలు అర్థం అవుతాయి. ఉదాహరణకి లిథియం (Li), సోడియం (Na), పొటాసియం (K), రుబీడియం (Rb) ఒకే జాతి (కుటుంబం లేదా గుంపు) మూలకాలు కనుక వీటన్నిటిని, ఒక (I వ) నిరుసలో వచ్చేలా అమర్చేరు ఆయన. అలాగే రాగి (Cu), వెండి (Ag), బంగారం (Au), ప్లేటినం (Pt) – ఈ నాలుగింటిని కట్టకట్టి మరొక గదిలో (అరుస 10, నిరుస VIII) లో పడేసేరు. క్లోరీన్ (Cl), బ్రోమీన్ (Br), అయొడీన్ (I) లు చాల చురుకైనవి; వీటిని మరొక (VII వ) నిరుసలో పెట్టేరు. ఇలా తనకి తెలిసిన 57 మూలకాలనీ గదులలో అమర్చి పైన చూపించిన వ్యూహం (array) తయారు చేసేరు మెండలియెవ్.

ఇంతవరకు పని చేసి తన పని అయిపోయిందని అనుకుని ఉంటే ఆయనని నేడు మనం స్మరించుకుని ఉండేవాళ్లం కాదు. ఈ పాటి పని ఆ రోజుల్లో చేసిన వాళ్లు ఉన్నారు. మెండెలియెవ్ మరొక అడుగు ముందుకు వేసేరు. పన్నెండు అరుసలు (ఆవర్తులు), ఎనిమిది నిరుసలు (కుటుంబాలు) ఉన్న వ్యూహంలో 12 x 8 = 96 గదులు ఉంటాయి కదా. కాని ఆ రోజులలో 57 మూలకాల ఉనికే తెలుసునని అనుకున్నాం కదా. కనుక మెండలీయెవ్ పైన చూపించిన దీర్ఘచతురస్రాకారపు వ్యూహంలో చాలా చోట్ల గదులని ఖాళీగా ఒదిలేసి అక్కడ ఒక ప్రశ్నార్థకం (?) వేసి, అక్కడ ఇంకా మనం కనుక్కోవలసిన మూలకాలు ఉన్నాయని ఆయన ఉద్ఘాటించేరు. అంతేకాదు; ఆయా మూలకాలు ఏయే లక్షణాలు కలిగి ఉంటాయో జోశ్యం చెప్పేరు.

ఉదాహరణకి 4 వ అరుస, III వ నిరుస స్థానంలో ఒక ప్రశ్నార్థకం ఉంది, చూడండి. ఆ గదిలో మనకి తెలియని మూలకం ఉందన్నారు ఆయన. ఆ గది అల్యూమినం (Al) ఉన్న గదికి ఒక ("ఏక") గది దిగువన ఉంది కనుక ఆ గదిలో ఉండవలసిన మూలకానికి ఆయన "ఏక అల్యూమినం" అని పేరు పెట్టేరు. ఈ ఏక అల్యూమినం అణు భారం 68 అని ఆయన జోశ్యం చెప్పేరు. అంతే కాదు. ఏక అల్యూమినం "గది ఉష్ణోగ్రత" (27 డిగ్రీలు సెల్సియస్) దగ్గర ఘన పదార్థం అనిన్నీ, అది లోహాలలా మెరుస్తూ ఉంటుందని, మంచి ఉష్ణవాహకి అని కూడ చెప్పేరు. అంతే కాదు. అది వెన్నలా అతి తేలికగా కరిగిపోతుందనిన్నీ, దాని సాంద్రత (అంటే ఒక ఘన సెంటీమీటరు బరువు) 6 అని కూడ ఉటంకించేరు. ఇదంతా ఆ వ్యూహంలో ఉన్న ఖాళీ స్థలానికి ఇరుగు పొరుగులలో ఉన్న మూలకాల లక్షణాలని బట్టి ఊహించేరాయన.

ఇదే పద్ధతిలో అయన ఊహించిన ఇతర మూలకాలకి ఏక–బోరాన్, ఏక–అల్యూమినమ్, ఏక–సిలికాన్, ఏక–జిర్కోనియం, ఏక–మేంగనీస్ అంటూ పేర్లు పెట్టేరు.

కొద్ది సంవత్సరాలు పోయిన తరువాత ఒక ఫ్రెంచి శాస్త్రవేత్త ఒక కొత్త మూలకం ఉనికి కనుక్కున్నాడు. దానికి "గేలియం" (అంటే ఫ్రెంచి భాషలో "ఫ్రాంసు" అని అర్థం). ఈ గేలియం అణు భారం 69.72. ఒక ఘన సెంటీమీటరు 5.9 గ్రాములు తూగుతుంది. గది ఉష్ణోగ్రత దగ్గర ఇది ఘన పదార్థమే కాని కేవలం 30 డిగ్రీల దగ్గర కరిగిపోతుంది. ఈ లక్షణాలు చూసి అయిన ఈ కొత్త మూలకాన్ని ఏక

అల్యూమినం ఉన్న స్థానంలో పెట్టాలని నిశ్చయించేరు. అంటే, గేలియం అన్నా ఏక అల్యూమినం అన్నా ఒక్కటే అన్న మాట.

ఇదే విధంగా మెండలియెవ్ ఏక సిలికాన్ అని పేరు పెట్టినది జెర్మేనియం అని తేలింది. ఏక మేంగనీస్ ని ఇప్పుడు టెక్నీటియం అంటున్నాం. ఆశ్చర్యం ఏమిటంటే ఈ టెక్నీటియం ప్రకృతిసిద్ధంగా దొరకదు; దీనిని మొట్టమొదట కృత్రిమంగా ప్రయోగశాలలో తయారు చేసేరు.

1 మెండలియెవ్ కి ఈ ఊహ ఎలా తట్టింది?

మెండలియెవ్ అట్ట ముక్కలని చీట్లపేక ముక్కల మాదిరి కత్తిరించి, ఒకొక్క ముక్క మీద ఒకొక్క మూలకం పేరు, దాని లక్షణాలు (అప్పటికి తెలిసినవి) రాసుకుని, ఆ దస్త్రాన్ని ఒక జేబులోను, సాధారణంగా ఆడుకునే చీట్లపేక దస్త్రాన్ని మరొక జేబులోను పెట్టుకుని తిరుగుతూ ఉండేవారుట. ప్రయాణం చేసేటప్పుడు రైలు స్టేషన్లో బండి కోసం వేచి ఉన్న సమయంలో కాలక్షేపానికి చీట్ల పేకతో "ఏకముఖ పారాయణం" (లేదా ఒక్కరు కూర్చుని ఆడుకునే ఒంటాట లేదా Solitaire) ఆట ఆడుకునేవారట. (బొమ్మ చూడండి.)



బొమ్మ 5. స్ఫూర్తి ఇచ్చిన "సోలిటైర్" అనే చీట్లాట

ఈ ఆట అంతర్జాలంలో తేలికగా దొరుకుతుంది. కంప్యూటర్ మీద ఆడుకోవచ్చు. ఈ ఆటలో పేకముక్కలని ఎరుపు, నలుపు ఒకదాని తరువాత మరొకటి వచ్చేలా రాజు నుండి రెండు వరకు అవరోహణ క్రమంలో అమర్చుకుంటూ పోవాలి. అవసరానికి అమరిన ముక్క వచ్చినంతసేపు శ్రేణి ఆలా పెరుగుతూ పోతుంది. అవసరమైన ముక్క వరసలో రాకపోతే శ్రేణి ఆగిపోతుంది. అప్పుడప్పుడు అవసరమైన ముక్క దస్త్రంలో ఉండకపోవచ్చు (పారేసుకుని ఉండొచ్చు) కదా! ఆహా! తన దగ్గర పేక ముక్కలు అన్నీ లేక పొతే ఆట పూర్తి అవదు కదా!!

ఇదే విధంగా మూలకాలని కూడా అమర్చితే? రెండో జేబులో ఉన్న రెండో దస్త్రాన్ని దాన్ని కూడా లక్షణాల వారీగా అమర్చుతూ ఉంటే కొన్ని చోట్ల అవసరానికి నప్పే ముక్క (మూలకం అని చదువుకోవాలి) దొరక్కపోతే అక్కడ ఖాళీ వదిలేసి ముందుకి కదిలేడు అయన.

మెండలియెవ్ బహుముఖ ప్రజ్ఞావంతుడు. రష్యా రాజు (జార్) ఆస్థానంలో ఎన్నో పనులు సమర్ధవంతంగా నిర్వహించేవాడు. మాదక ద్రవ్యాలలో ఆల్కహాలు శాతం ఎంత ఉందో దానిని బట్టి పన్ను విధించాలని సూచించేడీయన. ఉదాహరణకి ఒక గ్లాసుడు వాద్కా లో ఒక గ్లాసుడు నీళ్లు (లేదా, పళ్ళ రసం) కలిపితే రెండు గ్లాసుల "డ్రింకు" రాదు; అంతకంటే తక్కువ వస్తుంది. (ఈ ప్రయోగం ఇంటి దగ్గర చేసి చూడవచ్చు.) కనుక "డ్రింకు" మీద పన్ను విధించాలంటే అందులో ఆల్కహాలు శాతం ఎంత ఉందో లెక్క కట్టాలి. ఈ లెక్క కట్టి చూపించినది మెండలియెవ్.

ఇంత పని చేసి, రసాయన శాస్త్రం మీద తనదైన ముద్ర వేసిన మెండలియెవ్ కి నోబెల్ బహుమానం ఇవ్వలేదు. నోబెల్ బహుమానాలు ఇవ్వడం మొదలు పెట్టినది సా. శ. 1901లో. మెండలియెవ్ మరణించినది 1907 లో. ఈ ఏడు ఏళ్ళల్లోనూ వాంట్^హాఫ్, ఫిషర్, ఎర్రీనియస్, రేమ్సే, బేయర్, మెయిసాన్ లకి బహుమానాలు అందేయి. వీరెవరో తెలియని వారు ఉండొచ్చు. కాని, మెండలియెవ్ పేరు తెలియని విద్యార్థులు ఉండరేమో!

2. కొత్త మూలకాలకి వేట!

మెండలియవ్ నిర్మించిన మేడ దిట్టమైనదే అన్న నమ్మకం కుదిరింది కనుక ఇప్పుడు, సరదాకి, చిన్న వేట మొదలు పెడదాం. మచ్చుకి 112 వ గదిలో ఏ మూలకం ఉంటే బాగుంటుందో, దాని లక్షణాలు ఏమై ఉంటాయో, ఊహిద్దాం.

ఆవర్తన పట్టిక ప్రకారం 112 వ గది 80 వ గదికి దిగువన ఉంది కనుకనున్ను, 80 వ గదిలో పాదరసం (mercury, Hg) ఉంది కనుకనున్ను, 112 వ గది లో "ఏక పాదరసం" ఉండాలి. ఈ ఏక పాదరసానికి ఉండవలసిన లక్షణాలు ఏమిటి? ప్రప్రథమంగా ఏక పాదరసం ఉన్న కుటుంబం

(నిరుస, column) లో 30, 48, 80 అణు సంఖ్యలు గల మూలకాలు ఉన్నాయి. వీటన్నిటిలో పైన ఉన్న 30 వ గదిలో యశదం (zinc) ఉంది కనుక దీనికి "యశదపు కుటుంబం" (zinc family) అని పేరు పెడదాం. ఈ కుటుంబం లోని మూలకాల మరిగే స్థానం (boiling point), కరిగే స్థానం (melting point), అణు సంఖ్యతో ఎలా మారుతాయో ఈ దిగువ బొమ్మలో చూపెడుతున్నాను.

ఆవర్తు	అణు సంఖ్య	మూలకం	కరిగే స్థానం	మరిగే స్థానం
4	30	Zn యశదం	692.5 K	1180 K
5	48	Ca కేడ్మియం	594 K	1038 K
6	80	Hg పాదరసం	234 K	629.7 K
7	112	? ? ఏక పాదరసం	?	?

బొమ్మ 1. మూలకం 112 లక్షణాలు ఊహించడం

ఈ పట్టిక ద్వారా తెలిసినది ఏమిటి? ఆవర్తు పెరిగే కొద్దీ కరిగే స్థానం, మరిగే స్థానం తగ్గుతున్నాయి. ఆవర్తన సూత్రం ప్రయోగిస్తే ఏక పాదరసం కరిగే స్థానం, మరిగే స్థానం ఇంకా తగ్గాలి. కానీ ఎంత ఉండాలో ఎలా ఊహించడం? యశదం కరిగే స్థానం కంటే కేడ్మియం కరిగే స్థానం 98.5 డిగ్రీలు తక్కువగా ఉంది. కేడ్మియం కరిగే స్థానం కంటే పాదరసం కరిగే స్థానం 360 డిగ్రీలు తక్కువగా

ఉంది. ఇదే బాణిలో వెళితే ఏక పాదరసం కరిగే స్థానం ఇంకా తగ్గి, ఋణ స్థానంలో ఉండాలి; కానీ కెల్విన్ కొలమానంలో ఉన్న తాపోగ్రత శూన్య స్థానాన్ని దాటి దిగువకు వెళ్లకూడదు. కనుక ఈ మార్గం సుగమంగా లేదు.

పోనీ కరిగే తాపోగ్రతల నిష్పత్తులలో బాణీ ఎలా ఉందో చూద్దాం. ఈ లెక్క కట్టే ముందు రసాయన శాస్త్రంలో కనబడుతున్న మరొక ఆవర్తన సూత్రాన్ని దృష్టిలో పెట్టుకుందాం. ఆవర్తన పట్టికలో సరి ఆవర్తు ల (even periods) లోఉన్న మూలకాల లక్షణాలు, బేసి ఆవర్తు ల (odd periods) లోఉన్న మూలకాల లక్షణాలు ఒక స్థిరమైన నిష్పత్తిలో ఉంటున్నాయని కొంతమంది గమనించేరు. ఈ గమనిక ప్రకారం ఆరవ ఆవర్తు (6 వ అరుస) లో ఉన్న పాదరసం కరిగే స్థానానికి, నాలుగవ ఆవర్తు (4 వ అరుస) లో ఉన్న యశదం కరిగే స్థానానికి మధ్య ఉన్న నిష్పత్తి 234.2/692.5 = 0.338. కనుక ఏడవ ఆవర్తులో ఉన్న ఏక పాదరసం కరిగే స్థానానికి అయిదవ ఆవర్తులో ఉన్న కేడ్మియం కరిగే స్థానానికి మధ్య ఉన్న నిష్పత్తి కూడా 0.338 అవాలి. ఈ తర్కం ప్రకారం ఏక పాదరసం కరిగే స్థానం 200 K ఉండాలి. (ఈ చిన్న లెక్క చేసి చూడండి!) ఇదే విధంగా లెక్క కడితే ఏక పాదరసం మరిగే స్థానం 550 K ఉండాలని లెక్క తేలుతుంది.

ఇదే పద్ధతిలో మూలకం 114 యొక్క లక్షణాలు ఎలా ఉంటాయో ఊహిద్దాం. ఈ 114 వ మూలకం 82 వ గదికి దిగువన, అనగా "సీసం" కి దిగువన ఉంది కనుక దీనికి "ఏక సీసం" అని పేరు

పెడదాం. ఈ రెండు మూలకాలు కర్బనం ఉన్న కుటుంబంలో ఉన్నాయి కనుక వీటన్నిటిని కలగట్టి "కర్బనపు కుటుంబం" అందాం. ఇప్పుడు ఈ కర్బనపు కుటుంబంలో మూలకాల పేర్లు, వాటి కరిగే స్థానాలు, మరిగే స్థానాలు ఈ దిగువ పట్టికలో చూపెడుతున్నాను.

ఆవర్తు	అణు సంఖ్య	మూలకం	కరిగే స్థానం K	మరిగే స్థానం K
2	6	C కర్బనం	3800	5100
3	14	Si సిలికాన్	1683	2628
4	32	Ge జెర్మేనియం	1210	3103
5	50	Sn తగరం	505	2543
6	82	Pb సీసం	600	2017
7	114	?? ఏక సీసం	??	??

బొమ్మ 2. కర్బనపు రాసిలో మూలకాల లక్షణాలు

ఇప్పుడు ఇందాకటిలాగనే ఏకాంతర (alternate) స్థానాలలో ఉన్న మూలకాల కరిగే స్థానాల నిష్పత్తులు లెక్క కడదాం.

కర్బనం/జెర్మేనియం = 3800/1200 = 3.1

సిలికాన్/తగరం = 1683/505 = 3.3

జెర్మేనియం/సీసం = 1210/600 = 2.0

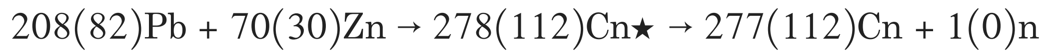
ఈ నిష్పత్తులు 3.1 నుండి 3.3 వరకు పెరిగి, 2.0 కి తరిగేయి. కనుక వీటి తరువాత వచ్చే నిష్పత్తి మళ్లా పెరగాలి. ఎంత పెరగాలో ఊహించడానికి మనకి తగినంత సమాచారం లేదు కనుక, మాట వరసకి తరువాత వచ్చే నిష్పత్తి 2.5 వరకు పెరిగిందని అనుకుందాం. ఇదే నిజం అయితే ఏక సీసం కరిగే స్థానం ఉరమరగా 200 K అవుతుంది. ఇదే పద్ధతిలో లెక్క వేస్తే ఏక సీసం మరిగే స్థానం ఉరమరగా 2400 K అవుతుంది.

ఏక పాదరసం, ఏక సీసం 200 K వద్ద కరుగుతాయి కనుక, (200 K = –73 C) ఈ రెండు మూలకాలు గది ఉష్ణోగ్రత (20 C) దగ్గర ద్రవ పదార్థాలు గానే ఉంటాయి – పాదరసం మాదిరి!

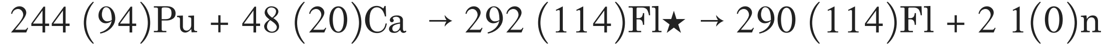
ఈ ఏక పాదరసం, ఏక సీసం ల భౌతిక లక్షణాలని చూసేం. వీటి రసాయన లక్షణాలు కూడా ఊహించగలమా? ముందు యశదపు కుటుంబాన్ని చూద్దాం. ఈ కుటుంబంలో అన్నిటికంటే చురుకైనది యశదం. దాని కింద ఉన్న కేడ్మియం అంత చురుకైనది కాదు. దాని కిందనున్న పాదరసం చురుకుదనం ఇంకా తక్కువ. అనగా, మిగిలిన మూలకాలతో పాదరసం కలవడానికి ఇష్టపడదు. ఒక వేళ సంయోగం చెందినా అతి తేలికగా వియోగం కూడా చెందుతుంది. అందుకనే, ఖనిజముల నుండి

పాదరసాన్ని విడగొట్టడం తేలిక. అందువల్లనే పాదరసం పురాతనకాలం నుండీ మనకి తెలుసు. ఈ తర్కమే నిజం అయితే పాదరసం కింద గదిలో ఉన్న ఏక పాదరసం ఇంకా స్తబ్దుగా ఉండాలి. ఇదే రకం తర్కంతో ఏక సీసం కూడా చైతన్యం తక్కువగా ఉండే మూలకమే అవాలి!

ఇవన్నీ మెండెలియెవ్ మేడని ఆధారం చేసుకుని మనం గాలిలో కట్టిన మేడలేనా? ఇదంతా ప్రతిఫలం లేని ప్రయాస అని పక్కకి పెట్టేయడమేనా? కాదు! మూలకం 112 ని మొట్టమొదట జెర్మనీలోని డార్మ్‌స్టాడ్ట్ లో, 1996 లో, కృత్రిమంగా, పరిశోధనశాలలో సృష్టించేరు. దీనికి కొపర్నికం (copernicum) అని పేరు పెట్టేరు. దీనికి Cn అనే హ్రస్వనామం పెట్టేరు. దీనిని తయారు చెయ్యడానికి Zn–70 (యశదం, అణు సంఖ్య = 30, సాపేక్ష అణు భారం = 70) ని Pb–208 (సీసం, అణు సంఖ్య = 82, సాపేక్ష అణు భారం = 208) తో గుద్దుకునేలా చేసేరు. (ఈ కింది సమీకరణం చూడండి.)


208(82)Pb + 70(30)Zn → 278(112)Cn★ → 277(112)Cn + 1(0)n

మూలకం 114 ని రష్యాలోని డూబ్నా నగరంలోని ఫ్లెరోవ్ ప్రయోగశాలలో సృష్టించేరు కనుక దానికి ఫ్లెరోవియం (Fl) అన్ని పేరు పెట్టేరు. ప్లుటోనియం–244 ని కేల్సియం–48 తో బాదగా ఫ్లెరోవియం–290 పుట్టింది. (ఈ కింది సమీకరణం చూడండి.)



244 (94)Pu + 48 (20)Ca → 292 (114)Fl★ → 290 (114)Fl + 2 1(0)n

మొదటి రెండు మూలకాల లక్షణాలు మనం లెక్క కట్టిన అంకెలతో సరిపోయాయి. కనుక 118 అణు సంఖ్య గల మూలకం లక్షణాలు ఊహించడం పాఠకుల మెదడుకి మేతగా వదిలిపెడుతున్నాను.

3. మోల్ అంటే ఏమిటి?

రసాయన శాస్త్రంలో "మోల్" అనే భావం చాలా కీలకమైనది. ఈ మాట అర్థం కాక విద్యార్థులు చాల తికమక పడుతూ ఉంటారు.

నా చిన్నతనంలో బజారుకి వెళ్లి సరుకులు కొన్నప్పుడు కొన్ని కొలమానాలు వాడేవాడిని. డజను అరటి పళ్లు, వంద మామిడి పళ్లు, కుంచం బియ్యం, శేరు పాలు, వీశ వంకాయలు, బుట్టెడు రేగు పళ్లు, ఇలా ఉండేవి ఆ రోజుల్లో కొలమానాలు. ఇంట్లో వంట వండేటప్పుడు చేరెడు బియ్యం, చిటికెడు పసుపు, ఇందుపగింజంత ఇంగువ, అంటూ మరొక రకం కొలమానం వాడేవారు. అదే విధంగా రసాయన శాస్త్రంలో అణువులు (atoms) ఎన్ని ఉన్నాయో కొలవడానికి "మోల్" అనే కొలమానం వాడతారు.

డజను అంటే 12 వస్తువులు, జత అంటే 2 వస్తువులు, పుంజీ అంటే 4 వస్తువులు, అయినట్లే మోల్ అంటే 602,000,000,000,000,000,000,000 వస్తువులు లేదా 602 హెక్సిలియను వస్తువులు. ఇది మన ఊహకి అందనంత పెద్ద సంఖ్య. ఉదాహరణకి ఒక మోలు చింతపిక్కలని పోగు పోసి, ఉండలా కడితే ఆ ఉండ మన భూమి అంత పెద్ద గోళం అవుతుంది. మరొక ఉదాహరణ. ఒక మోలు గారెలు వరసగా ఒకదాని మీద మరొకటి దండలా పేర్చుకుంటూ పోతే ఇక్కడ నుండి సూర్యుడి వరకు, తిరిగి వెనక్కి భూమి వరకు, తిరిగి సూర్యుడి వరకు, అలా 200,000,000,000 (200 బిలియను) సార్లు తిరగొచ్చు.

పై ఉదాహరణని బట్టి తెలిసిందేమిటిట? ఏ ఎండకి ఆ గొడుగు పట్టాలి. మనం రోజువారీ కార్యక్రమాల్లో కిలోలు, లీటర్లు వాడతాం. మందులు కొలిచేటప్పుడు గ్రాములు వాడతాం. బస్సు బరువుని గ్రాములలో చెబితే ఏమి సబబుగా ఉంటుంది? టన్నులలో చెప్పాలి. పూర్వపు రోజులలో, పంటకొచ్చిన ధాన్యాన్ని గిద్దలలో కొలిచేవాళ్లమా? లేదే, గరిసెలలో కొలిచేవాళ్లం. మా ఊరు నుండి ఢిల్లీ ఎంత దూరం అంటే మిల్లీమీటర్లలో చెబుతామా? చెప్పం, కిలోమీటర్లలో చెబుతాం. అదే విధంగా ఒక జాడీలో చారెడు గంధకం గుండ వేసి ఆ గుండలో ఎన్ని అణువులు ఉన్నాయి అని అడిగితే దానికి సమాధానం "ఏ 2 మోలులో ఉంటాయి" అని సమాధానం చెబితే సబబుగా ఉంటుంది. "రెండు మోలుల అణువులు" అని అనకుండా 1,204,000,000,000,000,000,000,000 అణువులు అంటే ఏమి సబబుగా ఉంటుంది? ఇండియా నుండి అమెరికా ఎంత దూరం అంటే 22,000 కిలో మీటర్లు అనకుండా 22,000,000,000 మిల్లీమీటర్లు అన్నట్లు ఉంటుంది.

కనుక, జత అంటే 2, పుంజీ అంటే 4, డజను అంటే 12, మోలు అంటే 602,000,000,000, 000,000,000,000. రసాయన శాస్త్రంలో ఈ కొలమానం తరచు వాడుకలోకి వస్తూ ఉంటుంది కనుక దీనికి ఆచార్య అవగాడ్రో గౌరవార్థం "అవగాడ్రో సంఖ్య" అని పేరు పెట్టేరు.

బాగానే ఉందయ్యా! జాడీలో వేసిన చారెడు గంధకం గుండలో 1,204,000,000,000, 000,000,000,000 అణువులు ఉన్నాయో లేదో లెక్కపెట్టి తేల్చడం ఎలా? దీనికి చిన్న ఉపమానం

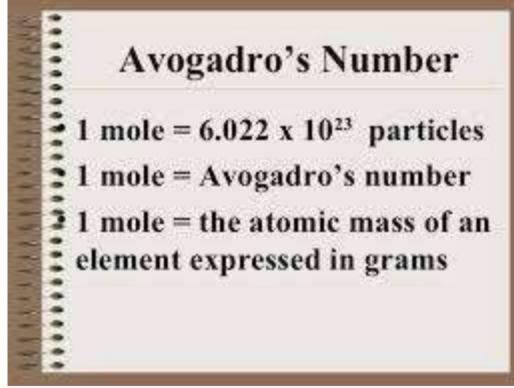
చెబుతాను. నా చిన్నతనంలో పచారీ కొట్లో కానీ ఇస్తే నాలుగు "పంచదార బల్లిగుడ్లు" ఇచ్చేవారు. ఆ కొట్టుకి వెళ్లి ఒక లక్ష బల్లిగుడ్లు అడిగేమనుకొండి. ఆ కొట్టువాడు ఒకటీ, రెండు, మూడు అనుకుంటూ లక్ష వరకు లెక్కపెడుతూ కూర్చోలేడు కదా. కాని ఆ కొట్టువాడికి తెలుసు: తూకం వేస్తే కిలోకి 3,500 బిళ్లలు తూగుతాయని! కనుక లక్ష బల్లిగుడ్లు 28.57 కిలోలు తూగుతాయి అని లెక్క కట్టి, నిమిషంలో తూకం వేసి లక్ష బల్లిగుడ్లు ఇస్తాడు. ఇదే విధంగా ఒక మోలు గంధకం తూకం వేస్తే ఎంత బరువు ఉంటుందో మనకి ముందుగా తెలిస్తే మన జాడీలో ఉన్న గంధకంలో ఎన్ని అణువులు ఉన్నాయో మనం చెప్పొచ్చు.

ఒక మోలు గంధకం ఎంత తూగుతుంది? ఇది మనకి మూలకాల ఆవర్తన పట్టిక (Periodic Table of Elements) చూస్తే తెలుస్తుంది. ఆవర్తన పట్టికలో, గంధకం గడిలో, S అనే అక్షరం కింద 32.07 అనే సంఖ్య ఉంటుంది, ఒక సారి చూసి నిర్ధారించుకొండి. దాని అర్థం ఏమిటంటే, తూకం వేసి 32.07 గ్రాముల గంధకం తీసుకుంటే అందులో ఖచ్చితంగా ఒక మోలు గంధకం అణువులు (Sulfur atoms) ఉంటాయి. ఇదే పద్ధతిలో ఆవర్తన పట్టికలో ప్రతీ మూలకం యొక్క మోలార్ భారం (molar weight) ఉంటుంది. ఉదాహరణకి కర్బనం (Carbon) మోలార్ భారం 12.01 అని ఉంటుంది. అనగా 12.01 గ్రాముల కర్బనంలో కూడ ఒక మోలు కర్బనం అణువులు ఉంటాయి, అనగా 602,000,000,000,000,000,000,000 కర్బనం అణువులు ఉంటాయి, లేదా కాసింత

క్లుప్తంగా, 6.02 x 10^23 కర్బనం అణువులు ఉంటాయి, లేదా అవగాడ్రో సంఖ్య అన్ని అణువులు ఉంటాయి.

ఇక్కడ ఒక చిన్న మెలిక ఉంది. కర్బనంలో రకరకాల కర్బనాలు ఉన్నాయి; వీటిల్లో మూడు ముఖ్యమైనవి: C–12, C–13, C–14. C–12 లో 6 ప్రోటానులు, 6 నూట్రానులు ఉంటాయి కనుక దాని అణు భారం 12. C–13 లో 6 ప్రోటానులు, 7 నూట్రానులు ఉంటాయి కనుక దాని అణు భారం 13. C–14 లో 6 ప్రోటానులు, 8 నూట్రానులు ఉంటాయి కనుక దాని అణు భారం 14. వీటి సగటు అణు భారం లెక్క కడితే 12.01 వస్తుంది.

ఆమ్లజని మోలార్ భారం ఎంత? ఇక్కడ కొంచెం జాగ్రత్తగా ఉండాలి. మనం పీల్చే గాలిలో ఉన్న ఆమ్లజని అణువు (atom) రూపంలో ఉండదు; బణువు (molecule) రూపంలో ఉంటుంది. ఇక్కడ బణువు అంటే రెండు ఆమ్లజని అణువుల జంట. ఒకొక్క అణువు మోలార్ భారం 16 కనుక ఆమ్లజని బణువు మోలార్ భారం 32 అవుతుంది. కనుక 32 గ్రాముల ఆమ్లజని లో6.02×10^{23} బణువులు ఉంటాయి లేదా 16 గ్రాముల ఆమ్లజని లో 6.02 x 10^{23} .



విద్యార్థులు గమనించవలసిన అతి ముఖ్య విషయం. ఇంగ్లీషులో "మోలార్" అనే మాటకి "మోలిక్యులార్" అనే మాటకి మధ్య అర్థంలో బోలెడు తేడా ఉంది. ఒక అణువు యొక్క భారం అనే భావాన్ని సూచించడానికి "అణు భారం" (atomic mass or atomic weight) అన్న మాట వాడతారు. అదే విధంగా ఒక బణువు యొక్క భారం "బణు భారం" (molecular mass or molecular weight) అన్న మాట వాడతారు. కాని ఈ "బణు భారం" అనే పదబంధం పాతబడిపోయింది. దీని స్థానంలో "సాపేక్ష బణు భారం (relative molecular mass) అనే పదబంధం వాడుతున్నారు. ఇక్కడ "సాపేక్ష" అన్నాము కనుక మన బణువు ఒక ప్రామాణిక బణువుతో (సాధారణంగా కర్బనం-12 బణువుతో) పోల్చి చూసినప్పుడు ఎంత బరువుందో చెబుతుంది. కాని "మోలార్ అన్నప్పుడు "ఒక మోలుతో పోల్చి చూసినప్పుడు" అని అర్థం. ఈ సూక్ష్మం అర్థం అవటానికి కాసింత పరిశ్రమ అవసరం.

రసాయన పరిశ్రమలో మోల్ అనే భావం ఎలా ఉపయోగపడుతుందో సోదాహరణంగా చూపిస్తాను. టైటేనియమ్ అనే లోహం తయారీ కి ఈ దిగువ చూపిన రసాయన అభిక్రియ (chemical reaction) తరచు వాడుతూ ఉంటారు.



$$2Mg(l) + TiCl_4(g) \rightarrow 2MgCl_2(l) + Ti(s), [temp = 800 - 850C]$$

ఈ రసాయన సమీకరణంల్లో ఎడమ పక్కన ఉన్న ముడి పదార్థాలు ఆయా కొలతలతో వాడితే కుడి పక్కన చూపిన లబ్ది పదార్థాలు వస్తాయి. ఎడమ పక్కన ఉన్న $2Mg(l)$ అంటే ద్రవ రూపంలో ఉన్న 2 మోలుల మెగ్నీసియం. కుండలీకరణలలో ఉన్న l అనే అక్షరం liquid అని చెబుతోంది. తరువాత $TiCl_4(g)$ అంటే ఒక మోలు వాయు రూపంలో ఉన్న టైటేనియమ్ టెట్రా క్లోరైడ్ (టూకీగా, టికిల్ అంటారు). మెగ్నీషియం క్లోరిన్ తో కలిసి ఉండడానికి ఎక్కువ ఇష్టపడుతుంది కనుక పైన చూపిన రసాయన సంయోగం జరుగుతుంది. తరువాత కుడి వైపు ద్రవ రూపంలో ఉన్న మెగ్నీసియం క్లోరైడ్, ఘన రూపంలో టైటేనియమ్ వస్తాయి.

ఈ ప్రక్రియ జరగడానికి ముడి పదార్థాలని బిగుతుగా మూతి ఉన్న ఒక తొట్టెలో పెట్టి దానిని 800–850 డిగ్రీల సెల్సియస్ వరకు వేడి చెయ్యాలి. అప్పుడు తొట్టెలో అట్టడుగుకి బరువుగా ఉన్న టైటేనియమ్ లోహం మడ్డిలా దిగిపోతుంది. ఆ మడ్డి మీద తేలుతూ ద్రవ రూపంలో మెగ్నీసియం క్లోరైడ్, దాని పైన తేలుతూ ద్రవ రూపంలో ఉన్న మెగ్నీసియం, ఆ పైన తేలుతూ వాయు రూపంలో టికిల్, విడివిడిగా స్తరాల (layers) మాదిరి ఉంటాయి. అభిక్రియ ఉపలబ్ధులు కిందకి దిగిపోతూ

ఉంటాయి కనుక పైన తేలుతున్న మెగ్నీసియం కి ఆ పైన ఉన్న ట్రికిల్ కి మధ్య అంతరాయం లేకుండా అభిక్రియ జరుగుతూనే ఉంటుంది.

ఇప్పుడు కార్ఖానాలో ఉన్న అధినేత 200 కిలోల టికిల్, 25 కిలోల మెగ్నీసియం తొట్టెలో వేసి టైటేనియమ్ తయారు చెయ్యమని ఆనతి జారీ చేసేడనుకుందాం. అప్పుడు ఎంత టైటేనియమ్ తయారవుతుంది? ఈ లెక్క చెయ్యడానికి 200 కిలోలని, 25 కిలోలని మోలులలోకి మార్చాలి. ఒక టికిల్ బణువులో ($TiCl_4$) ఒక అణువు టైటేనియమ్, నాలుగు క్లోరిన్ అణువులు ఉన్నాయి కనుక టికిల్ "అణుభారం" ఎంతో ఆవర్తన పట్టికని చూసి లెక్క కట్టవచ్చు. (ఈ లెక్క పాఠకులకి వదిలేస్తున్నాను). అప్పుడు

200 కిలోల టికిల్ = 1,054 మోలులు టికిల్ అవుతుంది.

25 కిలోల మెగ్నీసియం = 1,029 మోలులు మెగ్నీసియం అవుతుంది.

కానీ సమీకరణం ఏమిటి చెబుతున్నది? ఒక పాలు టికిల్ కి రెండు పాళ్ళు మెగ్నీసియం ఉండాలంటోంది; కానీ కర్మాగారం యజమాని మంజూరు చేసిన ముడిసరుకులో టికిల్, మెగ్నీసియం దరిదాపు సమ పాళ్లల్లో ఉన్నాయి. కనుక టికిల్ లో ఉన్న టైటేనియమ్ అంతా టైటేనియం లోహం గా మారటం లేదు. మనకి ఉరమరగా 515 మోలుల టైటేనియం మాత్రమే వస్తోంది. (ఈ లెక్క కూడా

జాగ్రత్తగా చేసి చూడమని పాఠకులని కోరుతున్నాను.) ఈ రకంగా లెక్క వేసి ముడి పదార్థాలు ఎంతెంత వాడాలో చూసుకుంటే రసాయన చర్య సమర్ధవంతంగా సాగుతుంది.

మోలు విలువ కచ్చితంగా చెప్పాలంటే: $6.022140857 \times 10^{23}$

మెదడుకి మేత

1. యురేనియం లోహాన్ని తయారు చెయ్యడానికి యురేనియం టెట్రా ఫ్లోరైడ్ (UF4)ని మెగ్నీసియం (Mg) తో కలిపిన తొట్టిని బట్టిలో పెట్టి 700 K డిగ్రీల వరకు వేడి చేస్తారు. ఈ రసాయన ప్రక్రియ పూర్తి అయిన తరువాత యురేనియం, మెగ్నీసియం ఫ్లోరైడ్ (MgF2) అనేవి తొట్టిలో మిగులుతాయి. అభిక్రియ మధ్యస్థంగా ఆగిపోకుండా కడితేరా జరగడానికి గాను కనీస అవసరాని కంటే 10 శాతం ఎక్కువ మెగ్నీసియంని వాడతారు. అభిక్రియ పూర్తి అయిన తరువాత 222 కిలోగ్రాముల యురేనియం కావాలనుకుంటే ఎంత మెగ్నీసియం కావలసి ఉంటుంది? సమాధానం కిలోగ్రాములలో రాయండి. (ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం పుస్తకం చివర ఉంది.)
2. సాధారణ తాపోగ్రత, పీడనం (nomal temperature and pressure) దగ్గర ఆదర్శ వాయువు ఉరువు (volume) ఎంత ఉంటుంది?
3. సాధారణ తాపోగ్రత, పీడనం (nomal temperature and pressure) దగ్గర ఆదర్శ వాయువులో అణువుల మధ్య సగటు దూరం ఎంత ఉంటుందో అంచనా వెయ్యాలి.

4. అణువుల భారాలని తూకం వెయ్యడం ఎలా?

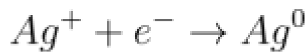
కర్బనం-12 అణు భారం 12 గ్రాములు అని చెప్పుకున్నాం కదా! అనగా, ఒక కర్బనం అణువు బరువు 12 గ్రాములా? ఎవ్వరైనా వింటే నవ్విపోతారు.

ఒక అంతర్జాతీయ ఒప్పందం ప్రకారం కర్బనం-12 (అనగా 6 ప్రోటానులు, 6 నూట్రానులు ఉన్న కర్బనం) అణు భారం 12.000 అని ఒప్పుకున్నారు. అనగా ఒక మోలు ప్రాప్తికి కర్బనం-12 అణువులని తూకం వేసి చూస్తే 12.000 గ్రాములు ఉంటుంది అని అర్థం. ఉంటుందో ఉండదో నాకు తెలియదు కానీ "ఉంటుంది" అని అంతర్జాతీయ ఒప్పందం. "మోలు ప్రాప్తికి" అంటే 602 000 000 000 000 000 000 000 = 6.02×10^{23} రేణువులు (ఇక్కడ అణువులు) అని తాత్పర్యం. ఈ సంఖ్య ఎక్కడ నుండి వచ్చింది?

డాల్టన్ సమకాలీకుడైన అవగాడ్రో ఇటలీలో, టూరిన్ నగరంలో, టూరిన్ విశ్వవిద్యాలయంలో ఆచార్యుడు. ఆయన ఏమన్నాడంటే "తాపోగ్రత (temperature), పీడనం (pressure) స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు, సమానమైన ఉరువు (volume) గలిగిన వివిధ వాయువులలో సమానమైన "రేణువులు" (అణువులు కావచ్చు, బణువులు కావచ్చు) ఉంటాయి అన్నారు. అనగా, తాపోగ్రత, పీడనం ఒకటే అయినప్పుడు ఒక లీటరు ఉదజని (H) లో ఉన్న అణువులు, ఒక లీటరు ఆమ్లజని (O_2) లో ఉన్న

బణువులు, ఒక లీటరు మెథేన్ (CH_4) లో ఉన్న బణువులు, సరిసమానం అని అర్థం. (Equal volumes of gases, at the same temperature and pressure, contain equal numbers of molecules.) అలా అయన అన్నారు కనుక అయన గౌరవార్థం ఆ సంఖ్య కి అవగాడ్రో సంఖ్య అని పేరు పెట్టేరు కానీ ఆ సంఖ్య విలువ ఎంతో అయన చెప్పలేదు.

అవగాడ్రో సంఖ్య విలువని ఇంగ్లండులో మైకేల్ ఫేరడే ప్రయోగం చేసి కనుక్కున్నాడు. అయన చేసిన ప్రయోగం పేరు విద్యుత్ నిక్షేపణం (electrodeposition). ఈ ప్రయోగంలో విద్యుత్ ప్రవాహం సహాయంతో 108 గ్రాముల వెండిని (అనగా, ఒక మోలు వెండిని) తూకం వేసి విద్యుత్తు సహాయంతో ఒక పళ్లెం మీద పూత పూస్తారు. ఇలా పూత పూయడానికి ఎంత విద్యుత్తు ("కరెంటు") ఖర్చు అవుతుందో కొలుస్తారు. ఇక్కడ జరిగిన ప్రక్రియని ఈ దిగువ చూపిన సమీకరణం ద్వారా వెల్లడి చెయ్యవచ్చు.



$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag^0$$

ఇక్కడ Ag^+ అంటే ధనావేశంతో ఉన్న ఒక వెండి అయాన్. అదే విధంగా e^- అంటే ఋణావేశంతో ఉన్న ఒక ఎలక్ట్రాను. ఈ రెండింటిని సంయోగపరిస్తే తటస్థంగా ఉన్న వెండి మూలకపు అణువు (Ag^0) వస్తుంది అని ఈ సమీకరణం చెబుతోంది. అనగా ఎన్ని ఎలక్ట్రానులు (లేదా, ఎన్ని కూలుంబుల ఆవేశం లేదా ఛార్జి) ఖర్చు అవుతున్నాయో కొలవగలిగితే అన్ని వెండి అణువులు, సమీకరణంలో, కుడి వైపు నిక్షేపం చెందుతున్నాయని అర్థం అవుతోంది కదా. ఫేరడే ప్రయోగం ద్వారా ఒక మోలు వెండిని

(అనగా 108 గ్రాముల వెండిని) పూత పుయ్యడానికి 96,485 కూలుంబుల ఆవేశం (ఛార్జి) ఖర్చవుతుందని తేలింది. ఈ 96,485 ని ఫేరడే స్థిరాంకం అంటారు. ఈ ప్రయోగం అమరిక ప్రకారం ఒకొక్క వెండి అణువుని పూత పుయ్యడానికి ఒక ఎలక్ట్రాను వాడవలసి వస్తుంది. అనగా

ఖర్చు అయిన ఎలక్ట్రానులు x ఒకొక్క ఎలక్ట్రాను మీద ఛార్జి = 96,485

కనుక 96,485 ని "ఒకొక్క ఎలక్ట్రాను మీద ఎంత ఆవేశం (ఛార్జి) ఉందో" ఆ సంఖ్య చేత భాగిస్తే మనకి ఖర్చు అయిన ఎలక్ట్రానులు ఎన్నో తెలుస్తుంది. ఒకొక్క ఎలక్ట్రాను ఒకొక్క వెండి అణువుతో సంయోగం చెందింది కనుక

ఖర్చు అయిన ఎలక్ట్రానులు = నిక్షేపణ అయిన వెండి అణువులు

ఎన్ని వెండి అణువులు ఖర్చు అయ్యాయి? మోలుడు! అనగా, అవగాడ్రో సంఖ్య ఎంతో అన్ని! కనుక అవగాడ్రో సంఖ్య ఎంతో తెలుసుకోవాలంటే 96,485 ని ఒకొక్క ఎలక్ట్రాను మీద ఛార్జి ఎంతుందో ఆ సంఖ్య చేత భాగించాలి. మన పని పూర్తి అవడానికి ఎలక్ట్రాను మీద ఎంత ఛార్జి (ఆవేశం) ఎంత ఉందో తెలియాలి.

ఎలక్ట్రాను మీద ఆవేశం (ఛార్జి) ఎంత ఉందో అమెరికాలో (చికాగో విశ్వవిద్యాలయంలో) పని చేస్తూన్న ఆచార్య రాబర్ట్ మిల్లికన్ ప్రయోగం చేసి కనుక్కున్నారు. ఆ ప్రయోగం తరువాత వర్ణించి చెబుతాను కానీ, అయన కనుక్కున్న ఎలక్ట్రాను మీద ఛార్జి విలువ 1.6×10^{-19} కూలుంబులు. ఇప్పుడు ఫేరడే సంఖ్యని ఈ ఎలక్ట్రాను ఛార్జి తో భాగిస్తే 6.2×10^{23} వస్తుంది. ఇదే అవగాడ్రో సంఖ్య. (ప్రతి రసాయన విద్యార్థికి ఈ సంఖ్య విలువ కంఠతో రావాలి.) అనగా,

అవగాడ్రో సంఖ్య $= 96,485/1.6 \times 10^{-19} = 6.02 \times 10^{23}/mole$

ఇప్పుడు "ఎటామిక్ మాస్ యూనిట్" (amu) అనే భావాన్ని ఈ విధంగా నిర్వచిస్తారు. "ఎటామిక్ మాస్ యూనిట్" (amu) అంటే కార్బన్-12 గరిమ లేదా భారం (mass) లో పన్నెండవ వంతు. కార్బన్-12 కేంద్రకంలో సరిగ్గా 12 పరమాణువులు (sub-atomic particles) ఉన్నాయి కనుక "ఎటామిక్ మాస్ యూనిట్" అంటే కేంద్రకంలో ఉన్న ఒక్క పరమాణువు యొక్క సగటు భారం అన్న మాట. ఈ లెక్క చేస్తే

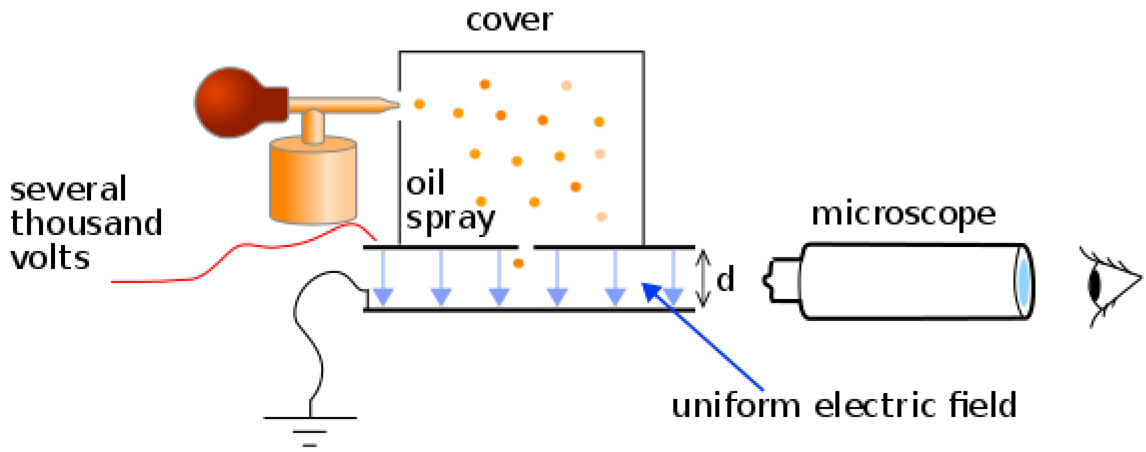
Mass of one mole of C12 = 12 g.

So mass of 1 atom of C12 = $1.9927 \times 10^{-23} g$.

Now, C12 has mass of 12 amu.

So, 1 amu $= (1.9987 \times 10^{-23})/12g = 1.67 \times 10^{-27}kg$

ఇప్పుడు కుతూహలం ఉన్న వాళ్ళకి మిల్లికన్ చేసిన ప్రయోగం నఖచిత్రంలా చెబుతాను. బొమ్మ చూడండి.



బొమ్మ 1. మిల్లికన్ చేసిన ప్రయోగం (వికీపీడియా నుండి)

ఒక ఎలక్ట్రాను మీద ఎంత ఛార్జి ఉందో కనుక్కోడానికి 1909 లో మిల్లికన్, ఫ్లెచర్ (Millikan and Fletcher) కలిసి చేసిన ప్రయోగం ఇది. దీనిని "నూనె చుక్కల ప్రయోగం" (oil drop experiment) అంటారు. బొమ్మలో చూపిన కాషాయ రంగు చుక్కలు నూనె తుంపరలు. ఈ తుంపరలు పైనున్న పళ్లెం లోని బెజ్జం గుండా, ఒకటీ ఒకటీ – వానపడ్డట్టు – భూమి ఆకర్షణ శక్తి ప్రభావానికి కిందనున్న పళ్లెం వైపుకి పడుతూ ఉంటాయి. ఇవి ఎంత జోరుగా కిందకి పడుతున్నాయో

సూక్ష్మదర్శనిలో చూసి లెక్క కట్టవచ్చు. ఇప్పుడు మీదనున్న పళ్ళెం, కిందనున్న పళ్లెం ఒక బేటరీకి తగిలిస్తారు. ఈ బేటరీ ప్రభావం వల్ల రెండు పళ్లేల మధ్య ఒక విద్యుత్ క్షేత్రం పుడుతుంది. ఈ క్షేత్రంలో ఉన్న ప్రతి నూనె తుంపరకి ఒక ఎలక్ట్రాను ఛార్జి ప్రాప్తికి ఆవేశం అంటుకుంటుంది. ఇలా విద్యుదావేశం పొందిన తుంపరలు భూమి ఆకర్షణ క్షేత్రంలో కిందికి పడిపోకుండా విద్యుత్ క్షేత్రం అడ్డుకుంటుంది. నూనె తుంపర, త్రిశంకువులా, మధ్యస్థంగా నిలకడగా ఉండేటట్లు బేటరీ శక్తిని అమర్చుకుని ఆ శక్తిని కొలుస్తాం. మిగిలినది అంతా గణితం. ఇలా ఎలక్ట్రాను ఛార్జి కొలిచినందుకు మిల్లికన్ కి 1923 లో నోబెల్ బహుమానం ఇచ్చేరు.

5. అణు వాదంలో రసగుళికలు

1. అణువు అంటే ఏమిటి?

గ్రీకు భాషలో "అ" అనే పూర్వప్రత్యయం 'కానిది' అనే అర్థాన్ని ఇస్తుంది; సంస్కృతంలో అశుభ్రం అంటే 'శుభ్రం కానిది' అయినట్లు. గ్రీకు భాషలో "తోమోస్" అంటే 'కత్తిరించు' అనే అర్థం వస్తుంది. ఇప్పుడు "అ" అనే పూర్వప్రత్యయాన్ని "తోమోస్" తో సంధించగా వచ్చిన మాట "అతోమోస్" అంటే కత్తిరించడానికి వీలు కానిది లేదా అవిభాజ్యం. ఇందులోంచి వచ్చిన "ఏటం" (atom) అంటే విభజించడానికి వీలు పడనంత చిన్న పదార్థం.

గ్రీకు, సంస్కృతం జ్ఞాతి భాషలు. సంస్కృతంలో ఈ రెండు మాటలని పోలిన మాట "ఆత్మ." ఈ ఆత్మ స్వభావం ఎటువంటిదో ఋగ్వేదంలో వచ్చే నారాయణ సూక్తం ఇలా చెబుతుంది:

"నీవారశూకవత్తన్వీ పీతా భాస్వత్యణూపమా | తస్యా"ః శిఖాయా మధ్యే పరమాత్మా వ్యవస్థితః"

అంటే, ఆత్మ అణు ప్రమాణంలో, మన హృదయ పీఠంలో వ్యవస్థితమై ఉంటుందని చెబుతోంది. ఈ వేద మంత్రాన్ని బట్టి అణువు అనే మాట వేదంలో ఉండడమే కాకుండా ఆత్మకి అణువుకి ఏదో అవినాభావ సంబంధం ఉన్నట్లు అనిపిస్తోంది కదా!

భగవద్గీత ఏమంటోంది?

“నైనం ఛిన్దన్తి శస్త్రాణి, నైనం దహతి పావకా”

అనగా, (అణుప్రమాణంలో ఉన్న) ఈ ఆత్మని కత్తితో కొయ్యలేము, మంటలో వేసి కాల్చలేము.

ఆధునిక శాస్త్రంలో “ఏటం” అన్న ఇంగ్లీషు మాటకి డాల్టన్ ఇచ్చిన నిర్వచనం కూడ ఇదే కనుక అణుప్రమాణంలో ఉన్న ఆత్మకి అణువుకి మధ్య ఉన్న పోలికని బట్టి “ఏటం” కి అణువు సమానార్థకమైన తెలుగు మాట అని మనం నిర్ధారించవచ్చు.

పోతే వాడుకలో చూద్దాం. మీరు ఎప్పుడైనా “పరమాణు బాంబు” అనే ప్రయోగం విన్నారా? Atom Bomb అంటే అణు బాంబే! మీరు ఎక్కడైనా “పరమాణు శక్తి” అనే ప్రయోగం చూసేరా? “అణు శక్తి” అంటే Atomic Energy. వాడుకలో మనం అణువుకీ, పరమాణువుకి మధ్య తేడాని గమనించడం లేదని మనవి చేసుకుంటున్నాను. ప్రాచీన కాలం నుండి మన సంప్రదాయంలో అణువు అంటే atom! పరమాణువు అంటే అణువులో అంతర్భాగం.

Atom ని అణువు అనాలనిన్నీ, molecule ని బణువు అనాలనిన్నీ 1969 లో తెలుగు భాషా పత్రికలో ఒకరు ప్రతిపాదించేరు. నేను అప్పటి నుండి అదే వాడుతున్నాను. నా వాడుకలో megamolecule (ఉ. రబ్బరు, హిమోగ్లోబిన్) బృహత్ బణువు, molecule (ఉ. మెతేన్, ఎతేన్) బణువు, atom (ఉ. ఉదజని, నియాన్) అణువు, subatomic particle (ఉ. ఎలక్ట్రాన్, ప్రోటాన్) పరమాణువు అవుతాయి.

2. అణు వాదం

సా. శ 1808 లో, బ్రిటిష్ వాడైన జాన్ డాల్టన్ ప్రతిపాదించిన అణు వాదంలో 5 అంశాలు ఉన్నాయి.

(1) పదార్థం (matter) అణువుల సముదాయం. అణువులు అఖండములు (అనగా, విభజించడానికి వీలు కానివి, indivisible), అవ్యయాలు (అనగా, indestructibe).

(2) ప్రతి రసాయన మూలకానికి తనదైన ఒక సూక్ష్మాతి సూక్ష్మమైన అణు (atom) రూపం ఉంటుంది. ఆ మూలకంలో అణువులన్ని ఒకేలా ఉంటాయి.

(3) వివిధ మూలకాల అణువులు వాటి బరువులలోను, లక్షణాలలోను తేడాలు ప్రదర్శిస్తాయి.

(4) ఈ స్థూల ప్రపంచంలో మనకి తారసపడే ప్రతి వస్తువు ఈ అణువులు సమ్మేళనమే. వివిధ మూలకాల అణువులు కలిసి మిశ్రమాలుగా మారినప్పుడు వాటి పాళ్ళు ఎల్లప్పుడూ పూర్ణంకాలలోనే ఉంటాయి కానీ భిన్న రూపాలలో ఉండవు.

(5) అణువులని కొత్తగా సృష్టించలేము, ఉన్నవాటిని నాశనం చెయ్యలేము. అనగా, రసాయన వియోగం జరిగినప్పుడు, ప్రతిక్రియ ముందు ఎన్ని అణువులు ఉన్నాయో తరువాత కూడా అన్ని అణువులు ఉంటాయి.

మన భారతీయ సంప్రదాయంలో కాణాదుడు దరిదాపు ఇదే భావాన్ని శతాబ్దాలకి ముందే ప్రవేశ పెట్టేడు. పైపెచ్చు కణాదుడు ద్వియాణువు, త్రయాణువు అని అణువుల గుంపులకి పేర్లు పెట్టేడు. అనగా, నేటి బణువు (molecule) అనే భావానికి అంకురార్పణ చేసేడు. కాణాదుడు తరువాత మన దేశంలో ఈ బాణీలో ఆలోచన కొనసాగించినవారు లేకపోయారు. మహా సముద్రంలో పగడపు దిబ్బలా ఎవ్వరో ఒక్కరు ఒక మూల కూర్చుని సృజన చేస్తే సరిపోదు; ఆ సంప్రదాయం పరంపరగా కొనసాగాలి. భారత దేశంలో అటువంటి శాస్త్రీయ పరంపరలు కనబడవు.

3. అణువు నిర్మాణ శిల్పం

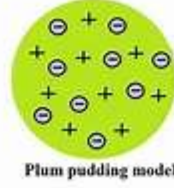
సా. శ 1896 లో, యూరోప్ లో, హెన్రి బెక్విరల్, మరీ క్యూరీ, పియేర్ క్యూరీ ప్రకృతి సిద్ధంగా జరిగే “రేడియో ధర్మం” అనే ప్రక్రియని అధ్యయనం చేస్తూ “కత్తిరించడానికి కూడా వీలు పడని సూక్ష్మాతి సూక్ష్మమైన అణు రూపం” అని మనం అభివర్ణిస్తున్న అణువు లోపల అంతర్గతమైన నిర్మాణశిల్పం ఉందనే భావానికి పునాదులు వేసేరు. అణువుని కత్తిరించి లోపల చూడవచ్చన్నమాట! అణుగర్భంలో ఇంకేమి ఉన్నాయో?

పందొమ్మిదవ శతాబ్దం అంతం కాలానికి   అణువు గురించి మనకి తెలిసిన విషయాలు ఇవి:

1. విద్యుత్పరంగా అణువు తటస్థంగా ఉంటుంది.
2. ఎలక్ట్రానులకి ఋణావేశం ఉంటుంది.
3. ఎలక్ట్రానుల భారం లేదా గరిమ (mass) అత్యల్పం.

అప్పటికే, 1766 లో, ఉదజని లక్షణాలని అభివర్ణించిన హెన్రి కేవెండిష్ కేంబ్రిడ్జి లోనే బ్రహ్మచారిగా జీవితం అంతా గడిపి, కూడబెట్టిన డబ్బునంతటిని కేంబ్రిడ్జి కి దానం చెయ్యడం వల్ల అయన పేరుతో ఒక ప్రయోగశాల వెలిసింది. ఆ కేవెండిష్ ప్రయోగశాలకి అధినేతగా జె. జె. థాంసన్ (J. J. Thomson) పనిచేసేవాడు. ఈయన సా. శ 1897 లో, కేథోడ్ కిరణాల మీద పరిశోధన చేసి ఏమన్నాడంటే కేథోడ్ కిరణాలు నిజానికి విద్యుత్ తత్త్వం పూనిన, ఉదజని అణువు కంటే చిన్నవయిన, రేణువులు అన్నాడు. అని ఈ రేణువులకి “కార్పసిల్స్” అని పేరు పెట్టేడు. ఈ పేరు బాగు లేదని ఈ రేణువులకి జె. స్టోనీ అనే ఆసామీ “ఎలక్ట్రానులు” (electrons) అని పేరు పెట్టేరు. థాంసన్ “ఎలక్ట్రానుల” ఉనికిని కనిపెట్టిన వ్యక్తి కాదు; అయన ఎలక్ట్రానుల లక్షణాలని వర్ణించి చెప్పేడు. ప్రత్యేకించి ఎలక్ట్రానుల మీద ఉన్న విద్యుత్ ఆవేశం (ఛార్జి) కి దాని భారానికి (గరిమకి) మధ్య నిష్పత్తి (అనగా, e/m) కొలిచేడు ఈయన. ఇదే సందర్భంలో అణువు అంతర్గత నిర్మాణశిల్పం మీద ఒక

నమూనాని ప్రతిపాదించేడు (బొమ్మ 1 చూడండి). ఈ నమూనాని బట్టి సగ్గుబియ్యం పాయసంలో కిస్మిస్ పళ్ళు ఉన్నట్లు అణువు అంతర్గత నిర్మాణం ఉంటుందని మనం ఉహించుకోవాలి.



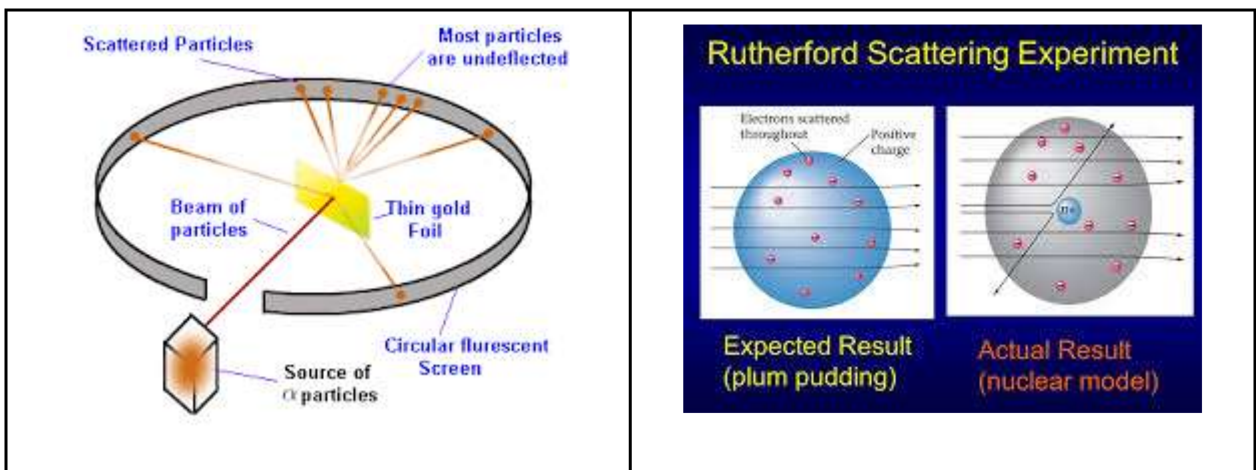
బొమ్మ 1. జె. జె. థాంసన్ ప్రతిపాదించిన అణువు నమూనా

ఈ ప్రతిపాదనని ఋజువు చెయ్యాలంటే ప్రయోగం చెయ్యాలి. ఆ బాధ్యత ఎర్నస్ట్ రూథర్^ఫర్డ్ (E. Rutherford) తీసుకున్నాడు. మేండలియెవ్ 14 మంది పిల్లలలో ఒకడైతే రూథర్ఫర్డ్ 12 మంది పిల్లలలో ఒకడు. న్యూజిలాండ్ లో పుట్టి పెద్ద చదువులకని ఇంగ్లండు వెళ్ళేడు. అక్కడ జె. జె. థాంసన్ దగ్గర శిష్యుడుగా చేరేడు. న్యూజిలాండ్ లో పొలాలలో పని చేసి వచ్చేడేమో హస్త కౌశల్యం ఉన్న మనిషి. ప్రయోగాలు చెయ్యడంలో దిట్టతనం సంపాదించేడు. గురువుగారి వాదంలో ఎంత పట్టు ఉందో చూద్దామని ప్రయోగం చేసి చూసేడు. ఆ ప్రయోగం అమరిక దిగువ బొమ్మలో చూడవచ్చు.

రూథర్^ఫర్డ్ పల్చటి బంగారపు రేకుని జోరుగా ప్రవహిస్తున్న “ఆల్ఫా” కిరణాలతో బాదేడు. “ఆల్ఫా” కిరణాలు అంటే రవిజని (Helium) అణువు చుట్టూ ఉన్న ఎలక్ట్రానులని పీకేయ్యగా మిగిలిన శల్యం.

ఎలక్ట్రానులని పీకేశాము కనుక మిగిలిన శల్యం ధనావేశంతో ఉంటుంది. దీనిని “హీలియం అయాను” అని కూడా అంటారు.

ఈ “ఆల్ఫా” కిరణాలు, ఏ ఒక్కటీ కూడా, అణు గర్భం గుండా పోకుండా, ఎల్లప్పుడూ పక్కకి తప్పించుకునే ప్రయాణం చేసేయి. ఈ “ఆల్ఫా” కిరణాలకి ధన విద్యుదావేశం ఉంది కనుకనున్ను, రెండు ధన విద్యుదావేశాలు వికర్షించుకుంటాయి కనుకనున్ను, అణు గర్భంలో కూడా ఏదో ధన విద్యుదావేశం ఉన్న పదార్థం ఉందని 1911 లో తీర్మానానికి వచ్చేడు. గ్రంథ విస్తరణ భీతి వల్ల వివరాల జోలికి వెళ్ళను కానీ అణు గర్భంతో పోల్చి చూస్తే అణువు ఆక్రమించిన స్థలం 10,000 రెట్లు ఉంటుందని గణితపరంగా అంచనా వేసేరు. అంటే ఏమిటన్నమాట? ఈ ప్రయోగాల ఫలితంగా అణువు యొక్క భారం అంతా కేంద్రంలో ఇమిడి ఉంటుందనిన్నీ, కేంద్రం చుట్టూ ఎలక్ట్రానులు తిరుగుతూ ఉంటాయనిన్నీ రూథర్^ఫర్డ్ అభిప్రాయం పడడం మొదలు పెట్టేరు. (ఈ కేంద్రానికి నూక్లియస్ అని రూథర్^ఫర్డ్ నామకరణం చేసేరు. దీనినే మనం తెలుగులో కేంద్రకం అంటున్నాం.)



బొమ్మ 2. రూథర్^ఫర్డ్ చేసిన ప్రయోగం

కుతూహలంతో కుతకుతలాడుతున్నవారికి: రూథర్^ఫర్డ్ వాడిన ఆల్ఫా కిరణాల శక్తి 7.6 మిలియన్ ఎలక్ట్రాన్ వోల్టులు. (శక్తిని కొలవడానికి ఎస్. ఐ. పద్ధతిలో జూల్ వాడతారు, కానీ అది చాల పెద్ద కొలమానం. "ఎలక్ట్రాన్ వోల్టు" అనే కొలమానం జూల్ కంటే బాగా చిన్నది. $1eV = 1.602 \times 10^{-19} joule$.) రూథర్^ఫర్డ్ వాడిన బంగారపు రేకు మందం 0.6 మైక్రోమీటర్లు. అనగా అల్లి పందుని ఫిరంగితో పేల్చినట్లు ఉపమానం చెప్పుకోవచ్చు. అంత శక్తిమంతమైన కిరణాలు కూడా కొన్ని అణుగర్భం లోకి చొరబడలేక పక్కకి తప్పుకుని కొన్ని, పూర్తిగా వెనక్కి తిరిగి కొన్ని వెళ్లిపోయేయంటే అణుగర్భంలో ఎంత ప్రచండమైన శక్తి ఉందో ఊహించుకోవాలి తప్ప వర్ణించలేను.

కుతూహలంతో కుతకుతలాడుతున్నవారికి మరొక విశేషం: బంగారు రేకు నుండి చెదిరిపోయిన ఆల్ఫా కిరణాలు ఎటు పక్క చెదిరిపోయాయో ఎలా తెలుస్తుంది? ఆ పని చెయ్యడానికి రూథర్^ఫర్డ్ ఒక రకం "గైగర్ కౌంటర్" వాడేరు. జింక్ సల్ఫైడ్ (ZnS) లేపనం మీద ఆల్ఫా కిరణాలు పతనం అయితే అక్కడ లేపనం జిగేల్ మని మెరుస్తుంది. ఆ మెరుపులని లెక్క పెడితే ఎన్ని ఆల్ఫా కణాలు (కిరణాలు) పడ్డాయో తెలుస్తుంది. ఈ పరికరం కనిపెట్టిన గైగర్ అక్కడ ప్రయోగశాలలో "టెక్నీషియన్" గా పని చేసేవాడు. ఇదే "గైగర్ కౌంటర్" ని మనం "రేడియేషన్" కొలవడానికి ఇప్పటికి వాడుతున్నాం!

మొదట్లో రూథర్^ఫర్డ్ నమూనా ప్రకారం అణు గర్భంలో ఉన్న ధన విద్యుదావేశపు పదార్థం (దీన్ని కేంద్రకం అన్నాం కదా!) తప్ప మిగిలినది అంతా ఖాళీయే అని తీర్మానించేరు. అదే నిజం అయితే

ఎలాక్^ట్రానులు కేంద్రకం చుట్టూ ప్రదక్షిణాలు చేస్తూ ఉండాలి. అదే నిజం అయితే ప్రదక్షిణాల వల్ల త్వరణం పొందుతున్న ఎలక్^ట్రానులు తమ శక్తిని క్రమేపి కోల్పోయి మధ్యలో ఉన్న కేంద్రకంలో పడిపోవాలి. అది జరగడం లేదు! లేదా, ఎలక్^ట్రానులకి ఉన్న ఋణావేశం, కేంద్రకంకి ఉన్న ధనావేశం కారణంగా కూలుంబ్ శక్తులకి తల ఒగ్గి ఒకదానితో మరొకటి ఢీకొని కలిసి పోవాలి. అదీ జరగడం లేదు! రూథర్^ఫర్డ్ నమూనా త్రిశంకు స్వర్గంలో నట్టడిపోయింది!! పచ్చి వెలక్కాయలా గొంతుకకి అడ్డం పడ్డ ఈ చిక్కు సమస్యని డెన్మార్క్ దేశస్థుడు నీల్స్ బోర్, 1913 లో, ఎలా పరిష్కరించేడో తరువాయి అధ్యాయంలో చూద్దాం.

6. ఆవర్తన పట్టిక

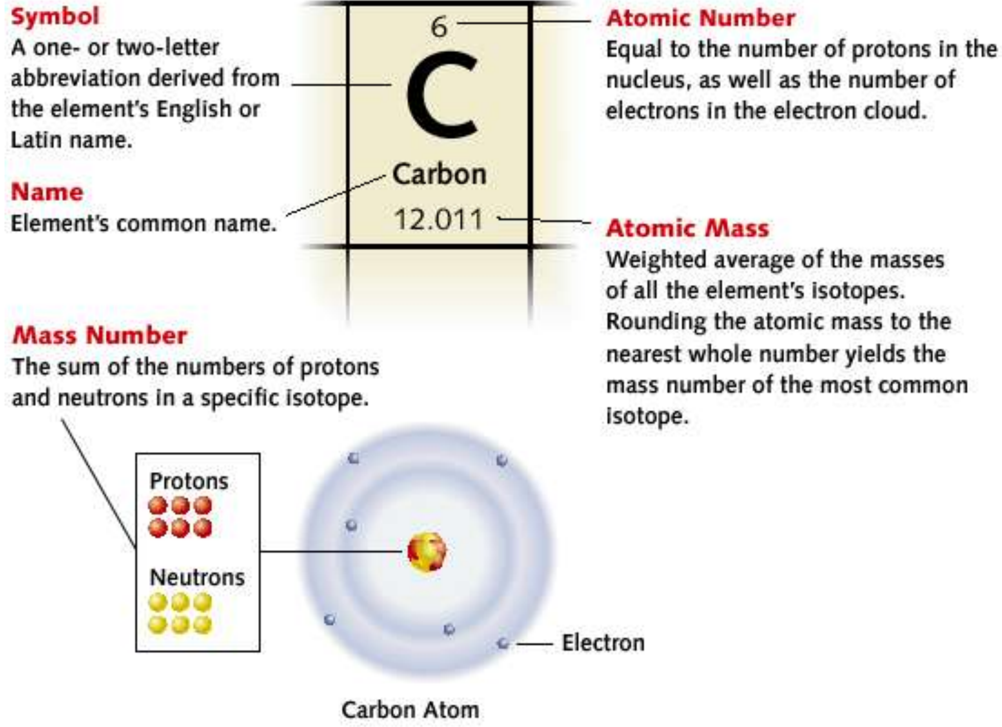
అమెరికాలో సైన్సు పాఠాలు చెప్పే తరగతి గదులలో, గోడల మీద, రంగురంగుల ఆవర్తన పట్టికలు వేల్లాడుతూ ఉంటాయి. సాధారణంగా ఈ బొమ్మలు ఆరు అడుగులు అడ్డుగాను, అయిదు అడుగులు నిలువుగాను ఉంటాయి. ఈ పట్టికలో ఉన్న సమాచారం అంతా జీర్ణం చేసుకుందుకి కొన్ని నెలలు పడుతుంది. రసాయన శాస్త్రం చదివే విద్యార్థులకి – చాలామందికి – ఈ పట్టిక కంఠస్థంగా వస్తుంది అంటే అది అతిశయోక్తి కాదు.

బొమ్మ 1. ఆవర్తన పట్టిక

పైన చూపించిన బొమ్మ చదవడానికి ఖణిగా కనిపించకపోయినా స్థూలంగా కొన్ని విషయాలు తెలుసుకోవచ్చు. ఈ బొమ్మలో 7 అడ్డు వరుసలు (rows = అరుసలు), 18 నిలువు వరుసలు (నిరుసలు) ఉన్నాయి. ప్రతి వరుస గదులుగా విడగొట్టి ఉంది కదా. ఒకొక్క (గదిలో) గడిలో ఒకొక్క రసాయన మూలకం పేరు, ఆ మూలకం గురించి కొంత సమాచారం ఉంది. ఈ స్థూల ప్రపంచం అంతా ఈ 118 మూలకాల మయం! సృష్టి అంతటిలోను ఉన్న రసాయన మూలకాలు అన్నీ ఇవే! మన శరీరాలు ఈ మూలకాలతో తయారయ్యాయి. మనం తినే తిండి ఈ మూలకాలతో తయారయింది. మనం వాడే వస్తువులన్నీ ఈ మూలకాలతో తయారయాయి.

పైన చూపిన బొమ్మ చాల ఇరుకుగా ఉండబట్టి సమాచారం ఖణిగా కనబడటం లేదు కనుక ఒక గడిని పెద్దగా చేసి దిగువ చూపెడతాను. ఈ దిగువ బొమ్మలో C అనే అక్షరం మూలకం యొక్క హ్రస్వ నామాన్ని సూచిస్తుంది. ఇక్కడ C అంటే కార్బన్. ఈ మాటనే పూర్తిగా ఇంగ్లీషులో కూడా రాసేరు. (దీనిని తెలుగులో కర్బనం అంటారు. మన బొగ్గులో ఎక్కువ భాగం ఈ కర్బనమే!) ఈ Carbon అనే మాట ఎగువన 6 అనే అంకె ఉన్నది కదా. ఒక కర్బనం అణువులో ఎన్ని ప్రోటానులు ఉన్నాయో ఈ అంకె చెబుతోంది. దీనినే అణు సంఖ్య (atomic number) అంటారు. ప్రోటానులకి ధన విద్యుదావేశం ఉంటుంది. ఈ అణు సంఖ్యని Z అనే అక్షరంతో సూచించడం సంప్రదాయం కనుక $Z = 1$ అయితే ఉదజని, $Z = 2$ అయితే రవిజని,...$Z = 6$ అయితే కర్బనం, $Z = 7$ అయితే నత్రజని,....అనుకుంటూ Z విలువ తెలిస్తే చాలు మూలకాన్ని గుర్తు పట్టేయవచ్చు.

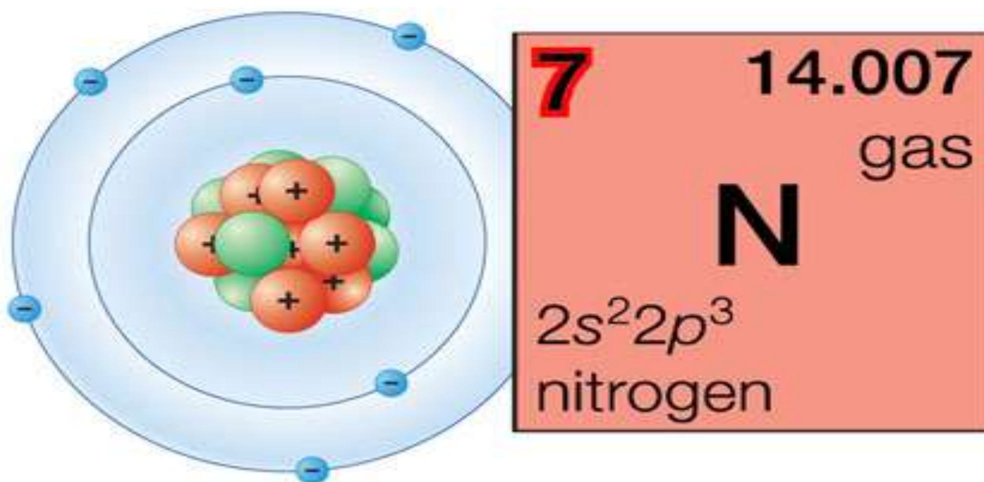
అణువు విద్యుదావేశం లేకుండా తటస్థంగా ఉంటుంది కనుక కర్బనం అణుకేంద్రం చుట్టూ 6 ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయని చెప్పనక్కర లేదు. నిజానికి ప్రతి మూలకం యొక్క అణువులోను ఎన్ని ప్రోటానులు ఉంటాయో అన్ని ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. ఈ ఎలక్ట్రానులు ఎంతో తేలికగా (ప్రోటానులు కంటే 2,000 రెట్లు తక్కువ బరువు) ఉంటాయి కనుక అణువు భారాన్ని కొలిచేటప్పుడు ఎలక్ట్రానుల భారాన్ని లెక్కలోకి తీసుకోరు. గడి దిగువ కనిపించే 12. 011 అనేది అణు భారం (atomic mass). ఈ అణు భారం అనే సంఖ్య అణువు కేంద్రకం (nucleus) లో ప్రోటానులు, న్యూట్రానులు కలిసి మొత్తం ఎన్ని ఉన్నాయో చెబుతుంది. ఉదాహరణకి కర్బనం కేంద్రకంలో 6 ప్రోటానులు, 6 న్యూట్రానులు ఉన్నాయి కనుక మొత్తం అణు భారం 12 ఆవాలి. కానీ 12. 011 అని ఉంది. దీనికి కారణం ప్రకృతిలో మూడు రకాల కర్బనపు అణువులు ఉండడమే! వాటిని C–12 (98.9%), C–13 (1.1 %), C–14 (లేశ మాత్రం) అని పిలుస్తారు. వీటి సగటు భారం తీసుకుంటే 12 x 0.989 + 13 x (0.011) = 12.011 వస్తుంది. ఈ మూడు రకాల కర్బనం అణువులలోను ఆరేసి ప్రోటానులే ఉంటాయి కనుక, నియమం ప్రకారం ఈ మూడింటిని ఒకే గదిలో (ఒకే స్థానంలో) ఉంచాలి. అందుకని వీటిని "ఏకస్థానులు" (isomers) అంటారు!



బొమ్మ 2. ఆవర్తన పట్టికలో ఒక గదిలో కనబడే సమాచారం.

పంచాంగాలన్నిటిలోను తిథి, వార, నక్షత్ర, యోగ, కరణాలు ఉన్నప్పటికీ, అన్ని పంచాంగాలూ ముమ్మూర్తులా ఒకేలా ఉండవు కదా. అదే విధంగా అన్ని ఆవర్తన పట్టికలలోని గదులూ ఒకేలా ఉండాలని నిబంధన ఏదీ లేదు; చిరుచిరు మార్పులు కనిపిస్తూనే ఉంటాయి. ఉదాహరణకి కొన్ని గదులు బొమ్మ 2 లో చూపినట్లు ఉండొచ్చు. ఈ బొమ్మని చూడగానే నైట్రోజన్ (నత్రజని) హ్రస్వ నామం N అనిన్నీ, దాని అణు సంఖ్య 7 అనిన్నీ, దాని కేంద్రకంలో 7 ప్రోటానులు ఉన్నాయనిన్నీ, దాని బయట 7 ఎలక్ట్రానులు తిరుగుతున్నాయనిన్నీ, దాని అణు భారం 14.007 అనిన్నీ తెలుస్తూనే ఉంది. ఈ గదిలో $2s^2\ 2p^3$ అనే అదనపు సమాచారం ఉంది. నిజానికి ఇక్కడ $1s^2 2s^2 2p^3$ అని ఉండాలి

కానీ $1s^2$ అని రాయకపోయినా విద్యార్థులు అర్థం చేసుకోగలరు కాబట్టి దానిని మినహాయించేరు. ఈ సమాచారాన్ని బట్టి కేంద్రకం చుట్టు ఉన్న ఎలక్ట్రానుల అమరిక అర్థం అవుతుంది. ఆ అమరిక వివరాలు మరొక సందర్భంలో తెలుసుకుందాం.



బొమ్మ 3. ఎలక్ట్రానుల అమరికని ఆవర్తన పట్టికలో చూపే సంప్రదాయం

ఈ ఆవర్తన పట్టికని మరొక కోణం నుండి చూద్దాం. బొమ్మ 3 లో నిలువుగా ఉన్న వరుసలకి రోమక సంఖ్యలతో !A, IIA,... VIIA అన్న పేర్లు ఉన్నాయి. వీటిల్లో నాలుగింటిని మాత్రం బొమ్మ 3 లో చూపెడుతున్నాను. ఈ నిలువు వరసలని (నిరసలని) ఇంగ్లీషులో గుంపులు (groups) అని కానీ, కుటుంబాలు (families) అని కానీ అంటారు. వీటిని మనం కుటుంబాలు అందాం.

ఒకటవ కుటుంబాన్ని పాత పద్ధతి ప్రకారం IA కుటుంబం అని కానీ, కొత్త పద్ధతి ప్రకారం (1) వ కుటుంబం అని కానీ, క్షార లోహాలు (alkali metals) అని కానీ అంటారు. రసాయన సంయోగం చెందే సమయాలలో ఈ కుటుంబంలోని సభ్యులు ఒక ఎలక్ట్రానుని పోగొట్టుకుంటాయి. ఇది వీటి ఉమ్మడి లక్షణాలలో ఒకటి.

రెండవ కుటుంబాన్ని పాత పద్ధతి ప్రకారం IIA కుటుంబం అని కానీ, కొత్త పద్ధతి ప్రకారం (2) వ కుటుంబం అని కానీ, క్షారమృత్తిక లోహాలు (alkali earth metals) అని కానీ అంటారు. రసాయన సంయోగం చెందే సమయాలలో ఈ కుటుంబంలోని సభ్యులు రెండు ఎలక్ట్రానులని పోగొట్టుకుంటాయి.

ఏడవ కుటుంబాన్ని పాత పద్ధతి ప్రకారం VIIA కుటుంబం అని కానీ, కొత్త పద్ధతి ప్రకారం (17) వ కుటుంబం అని కానీ, లవజనులు (halogens) అని కానీ అంటారు. రసాయన సంయోగం చెందే సమయాలలో ఈ కుటుంబంలోని సభ్యులు ఒక ఎలక్ట్రానులని సంపాదించుకుంటాయి.

ఎనిమిదవ కుటుంబాన్ని పాత పద్ధతి ప్రకారం VIIIA కుటుంబం అని కానీ, కొత్త పద్ధతి ప్రకారం (18) వ కుటుంబం అని కానీ, అచేతన వాయువులు (inert gases) అని కానీ అంటారు. ఈ కుటుంబంలోని సభ్యులు రసాయన సంయోగం చెందడానికి ఇష్టపడవు.

బోర్ నమూనా ప్రకారం ఎలక్ట్రానులు కేంద్రకం చుట్టూ ప్రదక్షిణాలు చేస్తున్నట్లు ఉహించుకుంటాం. గ్రహాలు పయనించే మార్గాలని "గ్రహ గతులు" అన్నట్లే ఎలక్ట్రానులు ప్రదక్షిణాలు చేసే బాటలని ఎలక్ట్రాన్ గతులు (electron orbits) అంటారు. కేంద్రకానికి అత్యంత సమీపంలో ఉన్న మొదటి ($n = 1$) గతిలో కేవలం రెండు ఎలక్ట్రానులే పడతాయి. మరి కొంచెం దూరంలో ఉన్న రెండవ ($n = 2$) గతిలో ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులు పడతాయి. కేంద్రకానికి దూరం అయే కొద్దీ గతులలో ఎక్కువ ఎలక్ట్రానులని పట్టించడానికి సావకాశం ఉంది.

ఒక అణువులో బట్టబయటి గతి (outermost orbit)లో ఉన్న ఎలక్ట్రానులని బాలపు ఎలక్ట్రానులు (valence electrons) అంటారు. ఆవర్తన పట్టికలో, IA కుటుంబంలో, ఉన్న మూలకాలన్నిటిలోను ఒకే ఒక బాలపు ఎలక్ట్రాను ఉంటుంది, IIA కుటుంబంలో ఉన్న మూలకాలన్నిటిలోను రెండు బాలపు ఎలక్ట్రానులు, IIIA కుటుంబంలో ఉన్న మూలకాలన్నిటిలోను మూడు బాలపు ఎలక్ట్రానులు,...., VIIIA కుటుంబంలో ఉన్న మూలకాలన్నిటిలోను ఎనిమిది బాలపు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. ఉదాహరణకి ఆమ్లజనిలో ఎన్ని బాలపు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి? ఆమ్లజని (oxygen) VI వ కుటుంబంలో ఉంది కనుక 6 బాలపు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. సిలికాన్ (Si) IV కుటుంబంలో ఉంది కనుక 4 బాలపు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి అని ఠకీమని చెప్పొచ్చు.

IA (1)	IIA (2)	VIIA (17)	VIIIA (18)
3 Li Lithium 6.939	4 Be Beryllium 9.0122		2 He Helium 4.0026
11 Na Sodium 22.9898	12 Mg Magnesium 24.312	9 F Flourine 18.9984	10 Ne Neon 20.183
19 K Potassium 39.102	20 Ca Calcium 40.08	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
37 Rb Rubidium 85.47	38 Sr Strontium 87.62	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.34	53 I Iodine 126.9044	54 Xe Xenon 131.30
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
Alkali Metals	Alkaline Earth Metals	Halogens	Noble Gases

బొమ్మ 4. ఆవర్తన పట్టికలో ఉన్న కొన్ని కుటుంబాలు

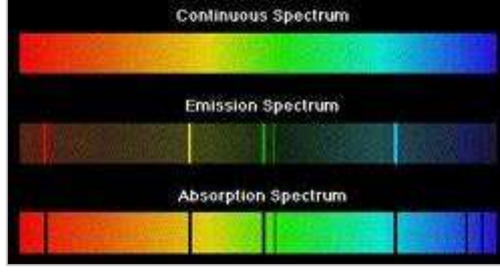
ఇదే విధంగా ఈ పట్టికని ఎడమ నుండి కుడికి అరుసలవారీగా (row–wise) చూస్తే మూలకాల అణు సంఖ్యలు పెరుగుతూ కనిపిస్తాయి. అంతేకాకుండా మూలకాల లక్షణాలు అణు సంఖ్య పెరుగుదలతో పాటు కొంతసేపు పెరిగి, తరిగి, మరల పెరుగుతూ కనిపిస్తాయి. దీనినే మెండలియవ్ ఆవర్తన సూత్రం (Mendeleev's Periodic Law) అంటారు. అవసరం వెంబడి ఈ సంగతి తరువాత చూద్దాం.

7. భౌతిక శాస్త్రంలో వచ్చిన పెను మార్పులు

రూథర్^ఫర్డ్ ప్రతిపాదించిన నమూనాని బోర్ ఎలా సవరించేడో తెలుసుకునే ముందు కొద్దిగా ఆ సవరణ వెనక ఉన్న చారిత్రాత్మక నేపథ్యం చూద్దాం.

సనాతన భౌతిక శాస్త్రంలో వచ్చిన పెద్ద మళుపులకి కారణభూతమైనవి ప్రయోగాలు. ఈ ప్రయోగాలే సిద్ధాంత సౌధాలకి పునాదులు. కనుక వీటి గురించి అవగాహన అత్యవసరం.

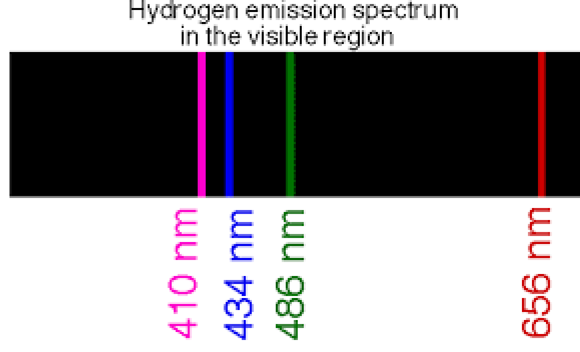
మనలో చాలామంది ఆకాశంలో ఇంద్రధనుస్సు (rainbow) చూసే ఉంటారు. వాతావరణంలోని నీటి తుంపరల మీద సూర్యరశ్మి పడ్డప్పుడు, ఆ నీటి తుంపరలు పట్టకం (prism) వలె ప్రవర్తించి సూర్యకిరణాలలోని రంగులని విడగొట్టగా మనకి సప్తవర్ణాలతో ఇంద్రధనుస్సు కనబడుతుంది. ఈ ఇంద్రధనుస్సునే భౌతిక శాస్త్రజ్ఞులు వర్ణమాల (spectrum) అని పిలుస్తారు. (లాటిన్ లో specter అంటే దృశ్యం, కనబడేది, దయ్యం, వగైరా అర్థాలు ఉన్నాయి. ఇందులోంచే spectator అనే మాట కూడా పుట్టింది.) ఈ వర్ణమాలలో కంటికి కనిపించే రంగులన్నీ, అవిచ్ఛిన్నంగా, ఒక రంగు నుండి మరొక రంగులోకి మారుతూ కనిపిస్తాయి కనుక దీనిని “అవిచ్ఛిన్న వర్ణమాల (continuous spectrum) అంటారు. ఇటువంటి అవిచ్ఛిన్న వర్ణమాల ఎలా ఉంటుందో చూడాలనిపిస్తే ఒకసారి ఆకాశంలో ఇంద్రధనుస్సు కనిపించినప్పుడు చూడండి. లేకపోతే ఈ దిగువ బొమ్మ చూడండి.



బొమ్మ 1. ఈ బొమ్మలో మొదటి వరుస అవిచ్చిన్న వర్ణమాలకి ఉదాహరణ.

ఒక్క సూర్యరశ్మినే కాదు, ఏ రకమైన కాంతినైనా ఒక పట్టకం ద్వారా పంపితే ఆ కాంతిలోని రంగులన్నీ విడిపోయి మనకి వర్ణమాలలా కనిపిస్తాయి. ఉదాహరణకి ఒక ఇనప కడ్డీని కొలిమిలో పెట్టి వేడి చేస్తే అది మొదట్లో ఎర్రగాను, తరువాత తెల్లగానూ ప్రకాశిస్తుంది కదా. అలా వెలుగుతూన్న కడ్డీ నుండి వచ్చే వెలుతురుని ఒక వర్ణమాలా దర్శిని (spectroscope) ద్వారా పంపించి చూస్తే మనకి కనిపించే వర్ణమాల అవిచ్చిన్నంగా కాక మధ్య మధ్య రంగు రంగుల గీతలతో కనిపిస్తుంది.

ఇటువంటి సందర్భాలలో అన్నిటికంటె సులభంగా అర్థం అయే ఉదజని అణువు ఎలా ప్రవర్తిస్తుందో పరిశీలించడం రివాజు. అందుకని ఉదజని (Hydrogen) సంగతి చూద్దాం. ఉదజని వాయువుని వేడి చేసి, అది ఉద్గారించే వర్ణమాల (emission spectrum) ని చూస్తే అది ఈ దిగువ చూపిన విధంగా కనిపిస్తుంది. నిజానికి ప్రయోగశాలలో చూసినప్పుడు ఈ గీతలని గుర్తించడం కష్టం; ఖణిగా కనబడవు, చాల నీరసంగా కనిపిస్తాయి – చీకట్లో దయ్యంలా!).



బొమ్మ 2. ఉదజని వర్ణమాలలో రంగు గీతలు ఎలా కనిపిస్తాయో చూపించే బొమ్మ.

ఈ వర్ణమాలలో కనిపించే గీతలని "బాల్మర్ శ్రేణి" (Balmer series) అంటారు. ఈ గీతలు ఒకొక్కటి ఒకొక్క రంగులో ఉన్నాయి కదా. కాంతిని కెరటాల మాదిరి ఊహించుకుంటే ఒకొక్క రంగు ఒకొక్క తరంగ దైర్ఘ్యం (wavelength) ని సూచిస్తుంది. ఏ తరంగాల విషయంలోనైనా సరే తరంగ దైర్ఘ్యం ఎక్కువయినకొద్దీ వాటి తరచుదనం (frequency) తరుగుతుంది. అంటే తరంగపు పొడుగుకీ, తరచుదనానికీ మధ్య విలోమ సంబంధం ఉందన్నమాట. ఇప్పుడు ఈ బాల్మర్ గీతలు తెచ్చిపెట్టిన చిక్కు సమశ్యని చెబుతాను.

బాల్మర్ గీతల రంగులని బట్టి ఆ రంగు కాంతి కిరణాల తరచుదనాన్ని లెక్కకట్టడం సులభం. ఇలా లెక్క కట్టగా తెలిసిన విషయం ఏమిటంటే ఏ గీత నిర్ణయించే తరచుదనమైనా సరే అదే వర్ణమాలలో ఉన్న మరో రెండు గీతల తరచుదనాల మొత్తంగా కాని, వ్యత్యాసంగా కాని చూప వచ్చు. ఈ లక్షణం కేవలం కాకతాళీయం అవటానికి వీలు లేదు. ఎందుకంటే ఇదే లక్షణం ఇనుము వంటి ఇతర మూలకాల వర్ణమాలలో కూడ కనిపించింది.

ఈ బాల్మర్ గీతలు ఏమిటి? వాటి వెనక ఉన్న కథ ఏమిటి? వీటికి ఈ లక్షణం ఎందుకు వచ్చింది? ఈ ప్రశ్నలకి సనాతన, సంప్రదాయిక భౌతిక వాదంలో సమాధానాలు దొరకలేదు.

ఒక పాఠం: ఈ రంగు గీతల గురించి మాట్లాడేటప్పుడు రంగు (color) పేరు చెప్పొచ్చు, లేదా తరచుదనం (frequency) విలువ చెప్పొచ్చు, లేదా తరంగ దైర్ఘ్యం (wavelength) విలువ చెప్పొచ్చు. ఇవన్నీ ఒకదానితో మరొకటి ముడిపడి ఉన్న భావాలే. సందర్భాన్ని బట్టి ఈ మాటలలో ఏదో ఒకదానిని వాడుతూ ఉంటారు. తరచుదనం, తరంగ దైర్ఘ్యం ఒకదానికి మరొకటి విలోమ సంబంధంలో ఉంటాయన్న విషయం గుర్తు పెట్టుకోండి (wavelength = c/frequency). ఉదాహరణకి, పసుపుపచ్చటి రంగు అన్నా, తరంగ దైర్ఘ్యం 590 నేనోమీటర్లు అన్నా, తరచుదనం సెకండుకి 5×10^{14} అన్నా ఒక్కటే.

($c =$ కాంతి వేగం $= 3 \times 10^8 meters/sec$ కనుక పసుపు రంగు తరచుదనం $= (3 \times 10^8 meters/sec)/(590 \times 10^{-7}) meters = 5 \times 10^{14}/sec$)

8. అణు యుగంలో గుళిక భావాలు

నల్లటి ఇనప కడ్డీని వేడి చేస్తే ముందు ఎఱ్ఱగాను, ఇంకా వేడి చేస్తే తెల్లగాను అవుతుంది. ఇది మనందరికీ తెలిసిన విషయమే. కానీ "చల్లగా ఉన్నప్పుడు నల్లగా ఉన్న కడ్డీ వేడెక్కుతున్నకొద్దీ ఎందుకు రంగు మారుతుంది?" ఈ రకం ప్రశ్న మనలాంటి సామాన్యులు అడగరు. కానీ జెర్మనీలో మాక్స్ ప్లాంక్ అడిగేరు. ప్రయోగాలు చేసి చూసేడు. మంటలో ఉన్న శక్తి (energy) "ఒక నదీ ప్రవాహంలా" కొలిమి నుండి కడ్డీ లోకి ప్రహిస్తుంది అని అనుకున్నంతసేపూ ఆయనకి సంతృప్తికరమైన సమాధానం దొరకలేదు. కాని, వేడి కొలిమి నుండి కడ్డీ లోకి "వాన చినుకులులా, బొట్లు బొట్లుగా," ప్రవహిస్తోంది అని అనుకుంటే ప్రయోగానికి, సిద్ధాంతానికి మధ్య పొత్తు కుదురుతోంది. ప్రత్యక్ష ప్రమాణానిదే పైచేయి కనుక – అయిష్టంగానే – శక్తి ధారలా ప్రవహించదు, బొట్లు బొట్లు గానే ప్రవహిస్తుంది అని, సా. శ 1900 నాటికి అందరూ ఒప్పుకోక తప్పలేదు. అనగా ఉష్ణ శక్తి నిజ స్వరూపం బొట్లు, బొట్లుగా, గుళికలలా, ఉంటుంది (heat energy is quantized).

సనాతన భౌతిక శాస్త్రానికి కొరకరాని కొయ్యలా తయారయిన మరొక ప్రయోగం తేజోవిద్యుత్ ప్రభావం (photoelectric effect). ఈ రోజుల్లో ఎన్నో ఉపకరణాలు ఈ తేజోవిద్యుత్ ప్రభావం మీద అధారపడి పని చేస్తున్నాయి కనుక ప్రాయోగికంగా ఇది ముఖ్యమైన అంశం.

విద్యుదయస్కాంత వికిరణం (electromagnetic radiation) కొన్ని పదార్థాల (ఇవి లోహాలు (metals) కావచ్చు, ఘన రూపంలో ఉన్న అలోహాలు (non-metals) కావచ్చు, ద్రవాలు కావచ్చు, లేదా వాయువులు కావచ్చు) మీద పడ్డప్పుడు ఆ పదార్థాలు అలా పతనమవుతూన్న వికిరణం లోని శక్తిని పీల్చుకొని, కొన్ని ఎలక్ట్రానులని విడుదల చేస్తాయన్న గమనిక ఈ ప్రభావం యొక్క లక్షణం.

మామూలు భాషలో చెప్పుకోవాలంటే కాంతి కొన్ని లోహాల మీద పడ్డప్పుడు ఎలక్ట్రానులు ఒక ప్రవాహంలా పుట్టుకొస్తాయి. ఈ ఎలక్ట్రాను ప్రవాహమే విద్యుత్ ప్రవాహం. ప్రవాహాన్ని ఇంగ్లీషులో "కరెంట్" (current) అని అంటారు కనుక ఇక్కడ ఇలా పుట్టుకొచ్చిన ప్రవాహాన్ని "ఫోటోఎలక్ట్రిక్ కరెంట్" (photoelectric current) అని అంటారు. దీనిని మనం కావలిస్తే "తేజోవిద్యుత్తు" ప్రవాహం అని తెలుగులో అనొచ్చు. ఈ సందర్భంలో మనకి కొరుకు పడని సమశ్య ఏమిటని అడుగుతున్నారా? ఈ తేజో ఎలక్ట్రానులలో ఉన్న శక్తి ఆ పదార్థం మీద పతనమయే విద్యుదయస్కాంత తరంగాల తీవ్రత (intensity) మీద కాకుండా ఆ కెరటాల తరచుదనం (frequency) మీద ఆధారపడి ఉంటుందని ప్రయోగం ద్వారా తెలిసింది. అంతే కాదు. పతనమయే తరంగాల తరచుదనం ఎక్కువ అయే కొద్దీ విడుదల అయే "తేజో ఎలక్ట్రాను"ల జోరు పెరుగుతుంది; అంటే, ఎక్కువ కరెంటు ప్రవహిస్తుంది. ఇది ప్రయోగం చెయ్యగా తెలిసిన విషయం. సనాతన భౌతిక శాస్త్రం ఎందుకు ఇలా జరుగుతోందో వివరించి చెప్పలేక పోయింది.

సా. శ 1905 లో అయిన్^స్టయిన్ విప్లవాత్మకమైన మూడు పరిశోధన పత్రాలు ప్రచురించేరు. వాటిల్లోఒకదాని పేరు "*On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light*". ఈ పత్రంలో అయన ఒక కొత్త ప్రతిపాదన చేసి ప్రయోగాలలో కనిపిస్తున్న తేజో విద్యుత్తు లక్షణాలకి ఒక వివరణ ఇచ్చేరు. ఈ వివరణలో కీలకమైన అంశం ఏమిటంటే కాంతిలో ఇమిడి ఉన్న శక్తి తరంగాలలా కాకుండా రేణువులులా (గుళికలు వలె) ఉంటుంది అన్నారు. ఆ కాంతి గుళికని "ఫోటాన్" (తేజాణువు) అంటారు. అనగా వేడి రూపంలో ఉన్న శక్తిని ప్లాంక్ గుళికీకరించినట్లే, కాంతి రూపంలోఉన్న శక్తిని కూడా గుళికీకరించాలి అన్నారు అయిన్^స్టయిన్. (అనగా, light energy is also quantized). గుళిక వాదం (quantum theory) కి పునాదులు పడుతున్నాయి!

తరువాత అనేక వాదాల ద్వారా అణు గర్భంలో (అనగా, కేంద్రకంలో) ఉన్న ధన విద్యుదావేశపు పదార్థం తప్ప మిగిలిన అణువు అంతా ఖాళీయే అని తీర్మానించేరు. అదే నిజం అయితే ఎలక్^ట్రానులు కేంద్రకం చుట్టూ ప్రదక్షిణాలు చేస్తూ ఉండాలి. అదే నిజం అయితే ప్రదక్షిణాలు చేసే ఎలక్^ట్రానులు తమ శక్తిని క్రమేపి కోల్పోయి మధ్యలో ఉన్న కేంద్రకంలో పడిపోవాలి. అదీ జరగడం లేదు!

పచ్చి వెలక్కాయలా గొంతుకకి అడ్డం పడ్డ ఈ చిక్కు సమస్యని డెన్మార్క్ దేశస్థుడు నీల్స్ బోర్, 1913 లో, కొంతవరకు పరిష్కరించేడు. ఈయన ఏమన్నాడంటే ఎలక్^ట్రానుల ప్రవర్తనని కూడా గుళికీకరించాలన్నాడు. అంటే? ఎలక్^ట్రానుల కేంద్రకం చుట్టూ – సూర్యుడి చుట్టూ గ్రహాలు తిరుగుతున్నట్లు – ఎప్పుడూ ఏదో ఒక నిర్దేశించిన కక్ష్య (గతి) లోనే తిరగాలి తప్ప తన ఇష్టం వచ్చినట్లు తిరగకూడదు. ఒక గతి (orbit) నుండి మరొక గతి లోకి గభీ మని "గుళిక గెంతు" (quantum jump) వేయ వచ్చు కానీ నెమ్మదిగా "జరుగుతూ" వెళ్ళకూడదు. అనగా ఎలక్^ట్రానులు ప్రదక్షిణం చేసే గతులని కూడా గుళికీకరించాలి (quantization of electron orbits). నీల్స్ బోర్ ప్రతిపాదించిన నమూనాని వేరొక అధ్యాయంలో కూలంకషంగా పరిశీలిద్దాం.

1. ముందు చూపు

దరిమిలా అణు గర్భంలో రెండు రకాల రేణువులు (particles) ఉన్నాయని తెలిసింది. ఒకటి, ఇందాక తారసపడ్డ, ధనావేశంతో ఉన్న ప్రోటాను. ఇది కాకుండా ఏ రకమైన ఆవేశం లేకుండా తటస్థంగా ఉండే నూట్రాను అనే రేణువు కూడా ఉందని కనుక్కున్నారు. దీనితో ఛేదించడానికి వీలు పడదనుకున్న అణువులో మూడు రకాల రేణువులు ఉన్నాయని తేలింది. వీటిని పరమాణువులు (sub-atomic particles) అందాం..

అణు పరిశోధనలో గుళిక సిద్ధాంతం నెమ్మదిగా తలెత్తున్న తరుణంలో జెర్మనీలో హైజెన్^బర్గ్ అనే అయన, 1927 లో, ఒక మెలిక వేసేడు. ఈయన అన్నది ఏమిటంటే అణు ప్రపంచంలో ఒక రేణువు ఒక సమయంలో ఎక్కడ ఉందో నిర్ధారించి చెప్పగలిగితే అదే సమయంలో అది ఎంత జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్నాదో చెప్పడం అసంభవం. అలాగే, ఒక రేణువు, ఒక సమయంలో, ఎంత జోరుగా ప్రయాణం చేస్తున్నాదో చెప్పగలిగితే అదే సమయంలో అది ఎక్కడ ఉందో నిర్ధారించి చెప్పడం అసంభవం. కష్టం కాదు, అసంభవం! అలాగే పౌలి (Pauli) సూత్రం ప్రకారం ఒకే లక్షణాలు కల రెండు ఎలక్ట్రానులు ఒకే చోట ఉండలేవు. అనగా ఒకే రకమైన కత్తులు రెండు ఒకే ఒరలో ఇమడవు. ఇలా గుళిక సిద్ధాంతం పెరుగుతూ వచ్చింది.

ఎప్పుడో శతాబ్దాల క్రితం కణాదుడు వేసిన విత్తు పోషణ లేక మరుగున పడిపోయినా ఇటీవలి కాలంలో పాశ్చాత్య ప్రపంచంలో అదే భావం తిరిగి తలెత్తి వటవృక్షంలా పెరిగి మన జీవన శైలినే మార్చి వేసింది.

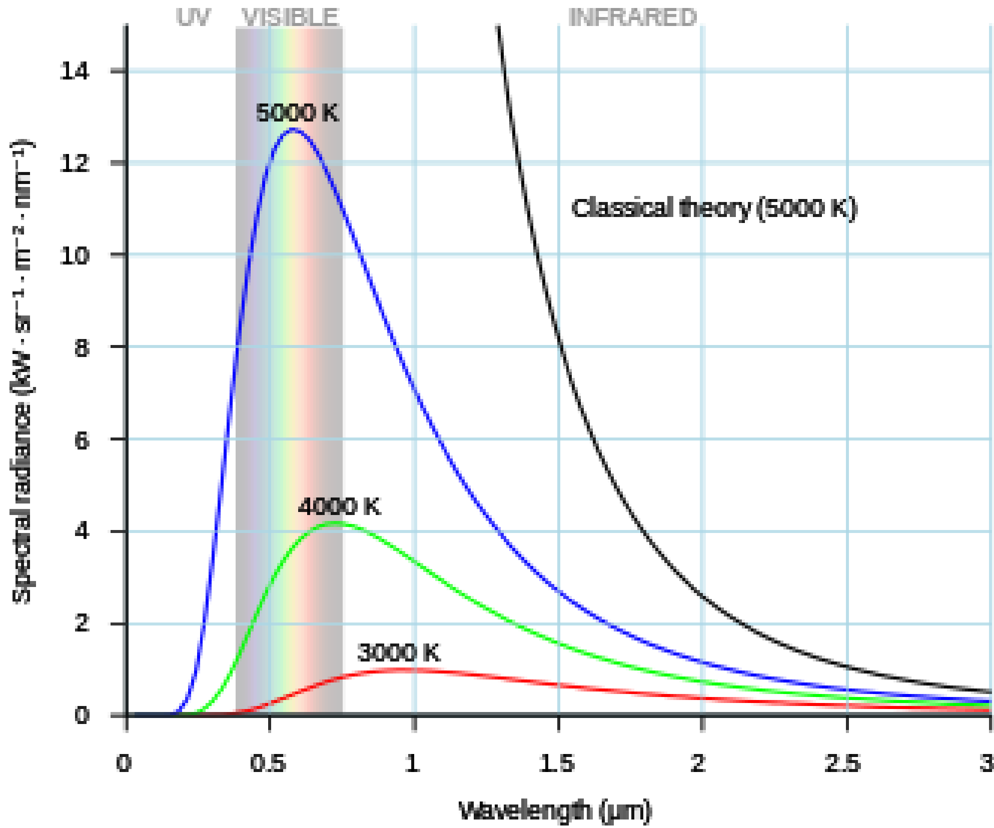
9. గుళిక వాదం ఆవిష్కరణ

రూథర్^ఫర్డ్ ప్రతిపాదించిన నమూనాని బోర్ ఎలా సవరించేడో తెలుసుకునే ముందు ఆ సవరణ వెనక ఉన్న నేపథ్యం మరికొంత చూద్దాం.

వస్తువులని వేడి చేసినప్పుడు వెలుగుతో ప్రకాశిస్తాయి. కర్రలని ఎర్రగా కాల్చినప్పుడు వేడితోపాటు వెలుగుని కూడా ఇస్తాయి కదా. విద్యుత్ దీపంలో ఉన్న తంతువు (filament) దరిదాపు 2,000 డిగ్రీల వరకు వేడెక్కి, పసుపు డౌలు కాంతిని ఇస్తుంది. సినిమా ప్రొజెక్టరులో వాడే “ఆర్క్ లేంపు” (arc lamp) తెల్లటి వెలుగుని ఇవ్వటానికి కారణం దాని ఉష్ణోగ్రత ఏ 3,000 – 4,000 డిగ్రీలో ఉండడమే. సూర్యుడి ఉపరితలం ఏ 6,000 డిగ్రీలో ఉంటుంది కనుక సూర్య కిరణాలలో నీలి రంగు పాలు ఎక్కువ. ఈ ఉపాఖ్యానం సారాంశం ఏమిటి? వస్తువులు వేడెక్కే కొద్దీ అవి విరజిమ్మే కాంతి రంగు ఎరుపు నుండి, పసుపు, తదుపరి నీలం లోకి మారుతుంది. ఇదే విషయాన్ని పరిభాషలో చెబుతాను: వస్తువులు వేడెక్కే కొద్దీ అవి విరజిమ్మే కాంతి యొక్క తరంగ దైర్ఘ్యం (wave length) తగ్గుతుంది. (ఎర్ర తరంగాలు “పొడుగ్గా” ఉంటాయి, నీలం తరంగాలు “పొట్టిగా” ఉంటాయి అని అందామా?)

ఇప్పుడు కర్రి కాయ (black body) అనే “ఆదర్శ వస్తువు” (ideal object) దగ్గరకి వద్దాం. నిర్వచనం ప్రకారం కర్రి కాయ నుండి ప్రసరించే వికిరణం (radiation) లో అన్ని రకాల విద్యుదయస్కాంత (electromagnetic) తరంగాలూ ఉంటాయి: పొట్టివి, మధ్యస్తమయినవి,

పొడుగువి, అన్నీ. అనగా సిద్ధాంత పరంగా సున్న నుండి అనంతం వరకు అని భాష్యం చెప్పుకోవచ్చు. ఇటువంటి వస్తువు చల్లగా ఉన్నప్పుడు అ వస్తువు చూడ్డానికి నల్లగా కనబడుతుంది కనుక ఈ పేరు వచ్చింది. ఇటువంటి కర్రి కాయ నుండి వెలువడే వికిరణంలో ఉన్న శక్తి అన్ని రంగుల తరంగాలలోను సమపాళ్లలో సర్దుబాటు అయి ఉంటుందా? లేక పొట్టివాటిల్లో ఎక్కువగాను, పొడుగువాటిల్లో తక్కువగాను ఉంటుందా? ఈ రకం లెక్కలు వేసి చూస్తూ ఉంటే జేమ్స్ జీన్సుకి ఒక విలక్షణమైన, మింగుడు పడని, ఫలితం కనిపించింది. (బొమ్మని చూడండి.)



బొమ్మ 1. కర్రి కాయ నుండి వెలువడే వికిరణం

ఒక కర్రి కాయని క్రమంగా 3,000; 4,000; 5,000 డిగ్రీల వరకు వేడి చేసి అది ఆయా ఉష్ణోగ్రతల దగ్గర ఏయే రంగు కిరణాలని (అంటే ఏయే తరంగ దైర్ఘ్యాలు ఉన్న కిరణాలని) విరజిమ్ముతున్నాదో ప్రయోగాత్మకంగా కొలిచి చూస్తే బొమ్మలో చూపిన ఎరుపు, ఆకుపచ్చ, నీలి రంగు గీతలు వచ్చేయి. కాని సనాతన వాదం నల్లగా ఉన్న గీత వస్తుందని చెప్పింది. అంటే ఏమిటన్న మాట? సనాతన వాదానికీ, ప్రాయోగికంగా వచ్చిన ఫలితానికి పొంతన కుదరలేదు. పోనీ వాదమే ఒప్పు, ప్రయోగమే తప్పు అని సరిపెట్టుకుందామా అంటే అదీ వీలు పడలేదు. చూడండి. నల్ల గీత అత్యూద ప్రాంతంలోకి వచ్చేసరికి అనంతంగా పెరిగిపోతోంది. దీన్నే "అత్యూద వినిపాతం" (ultraviolet catastrophe) అంటారు. భౌతికంగా ఏదీ ఇలా అపరిమితంగా పెరిగిపోకూడదు; పెరిగేది ప్రతీదీ ఎక్కడో ఒక చోట విరగాలి. ఈ క్లిష్ట సమశ్యకి సనాతన భౌతికశాస్త్రం పరిష్కారం చూపించలేకపోయింది. ఇదొక్కటే కాదు. ఇంకా అనేక సందర్భాలలో సాంప్రదాయ వాదం ఒక దారి చూపిస్తూ ఉంటే ప్రయోగాలు వేరొక దారి చూపెట్టడం జరిగింది.

అప్పుడు, డిసెంబరు 1900 లో, జెర్మనీ దేశపు మేక్స్ ప్లేంక్ (Max Plank, 23 April 1858 – 4 October 1947) అనే ఆసామీ రంగం లోకి దిగేడు. దిగి ప్రయోగానికీ, వాదనకీ మధ్య పొంతన కుదర్చడానికి గణిత సమీకరణంలో ఒక "కిట్టింపు గుణకం" (fudge factor) చేర్చి లెక్కని "కిట్టించేడు." ఇలాంటి గుణకాన్ని జెర్మనీ భాషలో "hilfsgrosse" అంటారు. అందుకనే ఆ కిట్టింపు గుణకానికి ప్లాంక్ స్థిరాంకం అని పేరు పెట్టి దానిని h అనే ఇంగ్లీషు అక్షరంతో సూచించడం

మొదలుపెట్టేరు. ఈ "కిట్టింపు గుణకం" ఉపయోగించి ప్లాంక్ ఇలా వాదించేడు. శక్తిని "నీటి ప్రవాహం"లా కాకుండా "నీటి బొట్లు" వలె, ఉహించుకోమన్నాడు. ప్లేంక్ దృష్టిలో శక్తిని కొలిచేటప్పుడు "కిట్టింపు గుణకం" కంటె చిన్న కొలమానం లేదు. అందుకని ఈ ప్రవాహంలోని "బొట్లు" కి గుళికలు (quanta) అని పేరు పెట్టేరు. ఈ "కిట్టింపు గుణకం" h విలువ అత్యల్పం. దీనికి ప్లాంక్ స్థిరాంకం అని పేరు పెట్టేరు. దీని విలువ $h = 6.62607004 \times 10^{-34}$. అర్ధ గుళికలు, పావు గుళికలు ఉండవు; ఒకటి, రెండు, మూడు.... అలా గుళికలని లెక్కపెట్టాలన్నాడు. అలా అనుకుంటే ప్రయోగానికి, వాదానికి మధ్య సామరస్యం కుదురుతోంది అన్నాడాయన.

ఉదాహరణకి మన కంటికి కనబడే ఆకుపచ్చ కాంతి (అనగా, తరచుదనం $= 540 \times 10^{12}/sec$) లో ఉన్న శక్తి గుళిక ఎంత ఉంటుందిట? ప్లాంక్ స్థిరాంకం $h = 6.62607004 \times 10^{-34}$ ని ఆకుపచ్చ రంగు తరచుదనం చేత గుణించగా వచ్చినంత! (అనగా 6.62607004 వేసి, దానిని 1 తరువాత 34 సున్నాలు వేయగా వచ్చిన సంఖ్యతో భాగించి, దానిని ఆకుపచ్చ రంగు తరచుదనం చేత గుణించాలి.) అనగా $6.62607004 \times 10^{-34}$ joule sec ని $540 \times 10^{12}/sec$ చేత గుణిస్తే $3.58 \times 10^{-19}\, Joule$ వస్తుంది. ఇది మన అనుభవానికి కాదు కదా, ఊహకి కూడా అందనంత అతి చిన్న సంఖ్య. (ఎంత చిన్నది అంటే అణువు పరిమాణం కంటే బాగా చిన్నది. అణువు కైవారం మహా ఉంటే 0.0000000001 మీటర్లు ఉంటుంది.)

మన అనుభవ పరిధికి అందాలంటే శక్తి ఎంత పెద్దగా ఉండాలి? ఒక మోలు ఆకుపచ్చ రంగు తేజాణువులులో ఉన్నంత శక్తి ఉండాలి. (ఉ. 6.022×10^{23} తేజాణువులు లో 216 kJ/mole శక్తి ఉంటుంది. ఆకుపచ్చ రంగు తరంగ దైర్ఘ్యం $= 555\, nm$ అని వేసుకుని ఈ లెక్క చెయ్యడం సులభం. ప్రయత్నించండి.) ఇది మన అనుభవ పరిధిలో ఉంటుంది కాబట్టి శక్తి గుళిక పరిమాణం ఎంత చిన్నదో చదువరులు ఉహించుకోగలరు.

ఇంత చిన్న అంశాన్ని మనం గుళిక అంటున్నాం. దీన్ని ఇంగ్లీషులో, ఏకవచనంలో, "క్వాంటం" (quantum) అంటారు. ప్లేంక్ దృష్టిలో శక్తిని కొలిచేటప్పుడు గుళిక కంటె చిన్న విలువ లేదు. ప్లేంక్ కి తెలుగు రాదు కనుక ఈ భావానికి "క్వాంటం" అని పేరు పెట్టేడు. నేను గుళిక అన్నాను!

ఇప్పుడు మేక్స్ ప్లేంక్ ప్రవచించిన విశేషాలేమిటో ఒకసారి పునర్విచారిద్దాం.

1. వికిరణ శక్తి (radiant energy) ఉద్గారణ (emission) జరిగినప్పుడు కాని శోషణ (absorption) జరిగినప్పుడు కాని చిన్న చిన్న మోతాదులలో జరుగుతుంది. ఈ మోతాదులని తెలుగులో గుళికలు అని అందాం. ఇంగ్లీషులో "క్వాంటా" అంటారు. (గుళిక = quantum, గుళికలు = quanta). ప్రతీ ఒక్క గుళికలోను ఒక నిర్దిష్టమైన మోతాదులో శక్తి నిబిడీకృతం అయి ఉంటుంది. మనం ప్రస్తావించే "శక్తి" కాంతి రూపంలో ఉంటే అప్పుడు ఆ గుళికని "ఫోటాను" (photon) లేదా తెలుగులో తేజాణువు అంటారు.

2. ఒక గుళికలో ఎంత శక్తి నిబిడీకృతం అయి ఉంటుంది అన్న ప్రశ్న ఉదయించినప్పుడు, ఆ శక్తి విలువ $E = hf$ అన్న సమీకరణం ద్వారా సూచించవచ్చు. ఇక్కడ h అనే దానిని ప్లేంక్ స్థిరాంకం అంటారు, దీని విలువ అత్యల్పం. తరువాత f అనేది ఆ వికిరణ తరంగాల యొక్క తరచుదనం (frequency).

3. ఒక వస్తువు ఉద్గారించే శక్తి కాని, శోషించే శక్తి కాని ఎల్లప్పుడూ $1h, 2h, 3h,$ లా పూర్ణ గుణకంతో ఉంటుంది కాని ఎప్పుడూ $1.32h, 2.01h$ లా భిన్న గుణకంతో ఉండదు. అంటే ఏమిటన్న మాట? శక్తి ఎప్పుడూ ఒకటో, రెండో, మూడో,... గుళికలలా ఉంటుంది (హోమియోపతీ మాత్రలలా).

ఈ నియమాలు ఇలా ఉండాలని మేక్స్ ప్లేంక్ బుర్రకి ఎలా తట్టింది? మహా ఋషుల బుర్రల్లోకి వేదాలు ఎలా తట్టేయి? అవి వారికి వినిపించాయిట! ఒకే విషయం మీద మనస్సు లగ్నం చేసి ఆలోచిస్తూన్నప్పుడు తయారుగా ఉన్న బుర్రకి కొత్త కొత్త ఊహలు తట్టడంలో వింతేమీ లేదు. ఇటువంటి సంఘటనలు ఆధునిక శాస్త్ర పరిశోధనా పథంలో ఎన్నో సార్లు జరిగేయి. బెంజీన్ చక్రం (Benzene ring) కట్టడి తన మనస్సులో ఇలాగే మెదిలిందని కెకూలె (Kekule) స్వయంగా చెప్పుకున్నాడు. అదే విధంగా ఈ నియమాలు ప్లేంక్ బుర్రకి తట్టేయి. వాటిని వాడి జేమ్స్ జీన్స్ పరిష్కరించలేని సమస్యని సాధించి, తనతో పాటు జీన్స్ నీ చిరస్మరణీయుడిగా చేసేడు, ప్లేంక్.

ఇక్కడ విద్యార్థులు నేర్చుకోవలసిన పాఠం ఒకటి ఉంది. ఒక సమశ్యని పరిష్కరించే ప్రయత్నంలో ఉన్నప్పుడు మనం అనుకున్న ఫలితం రాకపోతే ఆ ఫలితాన్ని "కిట్టించి" పరిశోధన పత్రం ప్రచురించే కంటె, కొంత ఆత్మవిశ్వాసంతో నిజాన్ని చెప్పినప్పుడు చరిత్ర సృష్టించిన వారవుతారు.

10. బోర్ ప్రతిపాదించిన నమూనా

రూథర్^ఫర్డ్ ప్రతిపాదించిన గ్రహ గతి సామ్యము (planetary orbit analogy) చాలామందికి నచ్చలేదు. ఎన్నో అభ్యంతరాలు చెప్పేరు. ఈ సందర్భంలో డెన్మార్కులో నీల్స్ బోర్ (7 October 1885 – 18 November 1962) రంగంలో ప్రవేశించేడు. ఇతను 1911 లో కార్ల్సబర్గ్ బీరు కంపెనీ వారి విద్యార్థి వేతనం గెలుచుకుని, రూథర్^ఫర్డ్ ప్రతిపాదించిన గ్రహ గతి సామ్యముని మరింత లోతుగా అధ్యయనం చేద్దామని జె.జె థాంసన్ దగ్గర ఆరు నెలలు, రూథర్^ఫర్డ్ దగ్గర ఆరు నెలలు శిష్యరికం చెయ్యడానికి ఇంగ్లండు వచ్చేడు. ఇంగ్లండు నుండి తిరిగి డెన్మార్క్ వచ్చిన తరువాత, 1913 లో, బోర్ ప్రతిపాదించిన మౌలిక భావానికి ఆయువు పట్టు అనదగ్గ అంశాలు అయిదు. అవేమిటంటే,

1. రూథర్^ఫర్డ్ ప్రతిపాదించిన అణువు నమూనా మౌలికంగా సరి అయినదే. అనగా, కేంద్రకం చుట్టూ ఎలక్ట్రానులు – సూర్యుడి చుట్టూ భూమి తిరుగుతూన్నట్లు – తమ తమ గతులలో తిరుగుతూ ఉన్నట్లు ఊహించుకోవడం సబబే!

2. సంప్రదాయిక విద్యుదయస్కాంత వాదం (classical electromagnetic theory) కేంద్రకం చుట్టూ తిరిగే ఎలక్ట్రానుల యెడల పని చెయ్యదు. (ఎందుకు పని చెయ్యదు అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం లేదు. అయన ఆలా అనుకోమన్నాడు. అంతే!)

3. నూటనిక యంత్రశాస్త్రం (Newtonian mechanics) కేంద్రకం చుట్టూ తిరిగే ఎలక్ట్రానుల యెడల పని చేస్తుంది. అనగా, ఎలక్ట్రాను యొక్క మొత్తం శక్తి దాని స్థితిజ శక్తిని గతిజ శక్తిని కలపగా వస్తుంది. అనగా,

ఎలక్ట్రాన్ మొత్తం శక్తి = ఎలక్ట్రాన్ స్థితిజ శక్తి + ఎలక్ట్రాన్ గతిజ శక్తి

(Total energy of electron = its potential energy + its kinetic energy)

4. ఎలక్ట్రానులో ఉన్న శక్తిని దాని కోణీయ భారవేగం (angular momentum) ద్వారా గుళికీకరించాలి. అనగా, ఎలక్ట్రాను గరిమ m అనుకుంటే, అది ఒక సరళ రేఖ వెంబడి v వేగంతో ప్రయాణం చేస్తూ ఉంటే దాని భారవేగం (momentum) mv అవుతుంది. కానీ ఎలక్ట్రాను కేంద్రకం చుట్టూ ప్రదక్షణలు చేస్తోంది. కేంద్రకం నుండి దాని దూరం r అనుకుంటే, దాని కోణీయ భారవేగం mvr అవుతుంది. దీనిని గుళికీకరించడం అంటే

$$mvr = n(\frac{h}{2\pi}), n = 1, 2, 3, ...$$

అని అనుకోవాలి. (ఇక్కడ h ప్లేంక్ స్థిరాంకం.) బోర్ నమూనాకు ఇది కీలకం. అనగా $n = 1$ అయినప్పుడు ఉన్న ఎలక్ట్రాను యొక్క కోణీయ భారవేగం కంటే $n = 2$ అయినప్పుడు ఉండే ఎలక్ట్రాను యొక్క కోణీయ భారవేగం రెట్టింపు ఉంటుంది. అదే విధంగా $n = 1$ అయినప్పుడు ఉన్న ఎలక్ట్రాను యొక్క కోణీయ భారవేగం కంటే $n = 3$

అయినప్పుడు ఉండే కోణీయ భారవేగం మూడు రెట్లు ఉంటుంది. అంతేకాని మధ్యస్థమైన విలువలు ఉండకూడదు అని బోర్ నిబంధన పెట్టేరు. అనగా, సూర్యుడి చుట్టూ ఉన్న గ్రహ గతుల (planetray orbits) మాదిరి కేంద్రకం చుట్టూ తిరిగే ఎలక్ట్రాను గతులు (electron orbits) నిర్ధేశించబడిన దూరాలలో తప్ప మధ్యేమార్గంలో ఉండవు. (ఎందుకు అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం లేదు. అయన అలా అనుకోమన్నాడు. అంతే!) అలా అనుకుని ప్రయోగంతో పోల్చి చూడాలి.

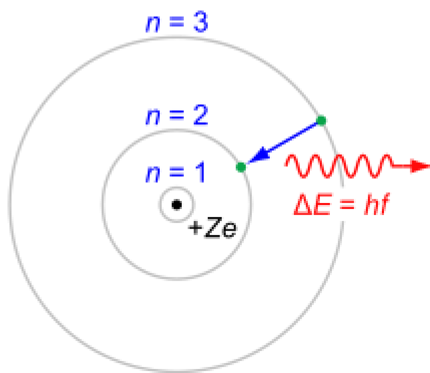
5. ఎలక్ట్రాను ఒక గతి నుండి మరొక గతికి కదిలినప్పుడు దానిలో నిక్షిప్తమైన శక్తి ఈ దిగువ చూపిన ప్లేంక్–అయిన్^స్టయిన్ సూత్రం ప్రకారం మారుతుంది.

$$\Delta E = E_{final} - E_{initial} = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

ఈ సమీకరణంలో ΔE అంటే శక్తిలో మార్పు, E_{final} అంటే కదిలిన తరువాత ఉన్న శక్తి, $E_{initial}$ అంటే కదిలే ముందు ఉన్న శక్తి, h అనేది ప్లేంక్ స్థిరాంకం, f అనేది తరచుదనం, λ అనేది తరంగదైర్ఘ్యం, c అనేది కాంతి వేగం.

బోర్ నమూనాకి పంచ ప్రాణాలయిన ఈ అయిదు అంశాలని కాసింత లోతుగా తరచి చూచే ముందు ఒక్క మనవి. ఈ నమూనా కేంద్రకం చుట్టూ ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను తిరుగుతున్న పరిస్థితులకి

మాత్రం పరిమితం. అనగా ఉదజని అణువు, ఒక ఎలక్ట్రానుని పీకేయ్యగా మిగిలిన హీలియం అయాను, రెండు ఎలక్ట్రానులని పీకేయ్యగా మిగిలిన లిథియం ఆయాను, ..., వగైరా సందర్భాలలో పనిచేస్తుంది. మరొక విధంగా చెప్పాలంటే వ్యష్టిగా ఉన్న కేంద్రం చుట్టూ ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను తిరుగుతున్న సందర్భాలలో (isolated center with only one electron orbiting.) ఈ నమూనా పని చేస్తుంది.



బొమ్మ 1. బోర్ ప్రతిపాదించిన నమూనా

బొమ్మలో చూపిన ఈ నమూనా ప్రకారం అణుగర్భంలో (అనగా, కేంద్రకంలో) $+Ze$ ధనావేశం ఉంటుంది; అనగా Z ప్రోటానులు, ప్రతి ప్రోటాను మీద $+e$ ధనావేశం, వెరసి $+Ze$ ధనావేశం. ఈ కేంద్రకం చుట్టూ $n = 1, n = 2, n = 3$,.... , అనుకుంటూ శక్తి స్థానాలు (energy

levels) ఉంటాయి. బోర్ నిర్దేశించిన షరతు ప్రకారం ఎలక్ట్రానులు ఈ శక్తి స్థానాలులో ఉండాలి తప్ప మధ్య స్థలంలో ఉండకూడదు. ఈ శక్తి స్థానాలులో ఉంటూ గానుగెద్దులా ఎలక్ట్రానులు కేంద్రకం చుట్టూ ప్రదక్షిణం చేస్తూ ఉంటాయి. ఎలక్ట్రానులు ఒక శక్తి స్థానం నుండి మరొక శక్తి స్థానానికి "గుళిక గంతు" వెయ్యవచ్చు. బొమ్మలో చూపినట్లు పై నుండి (అనగా, $n = 3$ నుండి) కిందకి అనగా, $n = 2$ కి) గంతు వేస్తే $\Delta E = hf$ ప్రాప్తికి శక్తి ఫోటాను (తేజాణువు) రూపంలో విడుదల అవుతుంది (దీనినే వంకర టింకరగా ఉన్న ఎర్ర గీతతో చూపేను). ఈ తేజాణువు ఏ రంగులోఉంటుందో f విలువ నిర్ణయిస్తుంది. ఈ f (తరచుదనం) విలువ మన కంటికి కనబడే వర్ణమాలలో ఉంటే మనకి ఆ రంగు గీత వర్ణమాలలో కనిపిస్తుంది.

11. గణిత పరంగా బోర్ నమూనా

అణువు కైవారం ఏమాత్రం ఉంటుంది? మంచి శక్తిమంతమైన సూక్ష్మదర్శనిలో చూస్తే అణువు కనిపిస్తుందా? అణువు గ్రహాల మాదిరి గతి తప్పకుండా కేంద్రం చుట్టూ ప్రదక్షిణం చేస్తోందని అంటున్నారు కదా, ఎంత జోరుగా తిరుగుతోంది?

ఈ రకం ప్రశ్నలు పుట్టడం సహజం. అందుకని ఈ ఒక్క అధ్యాయంలోనే గణితం వాడి ఈ రకం ప్రశ్నలకి సమాధానాలు వెతుకుదాం. ఈ అధ్యాయం అర్థం అవాలంటే కాసింత సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రంతో పరిచయం ఉండాలి. గుళిక వాదంలోని మజా అర్థం కావాలంటే కొంచెం శ్రమ పడి ఈ గణితం అర్థం చేసుకొండి.

వ్యష్టిగా ఉన్న ఒక కేంద్రం (center) చుట్టూ ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను ప్రదక్షిణం చేస్తున్నాదని ఉహించుకుందాం. ఈ రకం పరిస్థితికి ఉదజని (Hydrogen) అణువు ఒక ఉదాహరణ. ఉదజని అణువు కేంద్రకం (nucleus) లో ఒకే ఒక ప్రోటాను, దాని చుట్టూ ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను ప్రదక్షిణం చేస్తున్నట్లు ఉహించుకుంటాం. ఇటువంటి ఉదాహరణలు ఇంకా చాల ఉన్నాయి.

1 మొదటి అంచె:

భౌతిక శాస్త్రానికి ఆయువుపట్టు అయిన శక్తి యొక్క నిక్షేప నియమం (conservation law of energy) ప్రకారం ఎలక్ట్రాను యొక్క మొత్తం శక్తి ఖర్చు కాకుండా స్థిరంగా ఉండాలి. కేంద్రం చుట్టూ ప్రదక్షిణం చేస్తున్న ఎలక్ట్రాను యొక్క మొత్తం శక్తి – అనగా, స్థితిజ శక్తి (PE = potential energy), గతిజ శక్తి (KE = kinetic energy) – స్థిరంగా ఉండాలి. కనుక మొత్తం శక్తి (E_{total}) ఎంతో ఈ దిగువ సమీకరణం రూపంలో రాస్తారు.

$$E_{total} = KE + PE$$

ఇక్కడ $KE = kinetic\, energy$ అనగా గతిజ శక్తి, అనగా కదలికల వల్ల సంతరించిన శక్తి. ఇది నూటనిక సంప్రదాయపు శక్తి. దీని విలువ దిగువ సమీకరణంలో చూపుతున్నాను.

$$KE = (\frac{1}{2})mv^2$$

పై సమీకరణంలో m అనేది ఎలక్ట్రాను భారం (mass), v అనేది ఎలక్ట్రాను వేగం (velocity). వేగం అనేది జోరు (speed), దిశ (direction) రెండింటిని చెబుతుంది.

ఇప్పుడు $PE = potential\, energy$ సంగతి చూద్దాం. ఇది స్థితిజ శక్తి, అనగా పరిస్థితుల ప్రభావంవల్ల సంతరించిన శక్తి. ఇక్కడ పరిస్థితులు ఏమిటి? ఎలక్ట్రానుకి ఋణ విద్యుదావేశం, కేంద్రానికి ధన

విద్యుదావేశం ఉండడం వల్ల అవి పరస్పరం ఆకర్షించుకుంటాయి. ఇది కూలుంబ్ విద్యుత్ స్థితి శక్తి (Coulomb electrostatic energy). దీని విలువ దిగువ సమీకరణంలో చూపుతున్నాను.

$$PE = k\frac{qQ}{r}$$

పై సమీకరణంలో q ఎలక్ట్రాను మీద ఉన్న ఆవేశం (charge), Q అన్నది కేంద్రం మీద ఉన్న ఆవేశం, r అనేది కేంద్రానికి, ఎలక్ట్రానికి మధ్య దూరం, k ఒక స్థిరాంకం.

కేంద్రం మీద ఉన్న ఆవేశం ఎంత? కేంద్రంలో ఎన్ని ప్రోటానులు ఉన్నాయో దాని మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. కేంద్రంలో ఉన్న ప్రోటానుల సంఖ్యని రివాజుగా Z అనే అక్షరంతో సూచిస్తారు. ఒకొక్క ప్రోటాను మీద ఉన్న ఆవేశం $+e$ అనుకుంటే $Q = Ze$ = కేంద్రం మీద ఉన్న ఆవేశం. చుట్టూ తిరుగుతున్న ఎలక్ట్రాను మీద ఆవేశం $-e$.

ఇక్కడ m ని కిలోగ్రాములు అనిన్నీ, v ని మీటర్లు/సెకండు అనిన్ని SI పద్ధతి ప్రకారం కొలుస్తారు. అప్పుడు గతిజ శక్తి కొలమానం కిలోగ్రాములు–(మీటర్లు/ సెకండు) (మీటర్లు/ సెకండు) అవుతుంది. దీనినే సూక్ష్మంగా "జూల్" (Joule) అంటారు. ఇప్పుడు ఎలక్ట్రాను యొక్క మొత్తం శక్తిని లెక్క కట్టటానికి ఈ దిగువ ఇచ్చిన సమాచారం సరిపోతుంది.

ఎలక్ట్రాను మీద ఉన్న ఆవేశం = $e = 1.602 \times 10^{-19}$ కూలుంబులు

ఎలక్ట్రాను విశ్రాంతి భారం = $m_0 = 9.109 \times 10^{-31}$ కిలోగ్రాములు

కూలుంబ్ స్థిరాంకం = $k = 8.99 \times 10^9 \ Nm^2C^{-2}$

2 రెండవ అంచె:

భౌతిక శాస్త్రానికి ఆయువుపట్టు అనదగిన ప్రాథమిక సూత్రం మరొకటి ఉంది. వ్యష్టిగా ఉన్న వ్యవస్థపై ప్రభావం చూపుతున్న బలాల బీజగణిత మొత్తం శూన్యం అవాలి. (The algebraic sum of the forces acting on a system must be zero.) కేంద్రం చుట్టూ ప్రదక్షిణం చేస్తున్న ఎలక్ట్రాను మీద రెండు బలాలు పనిచేస్తున్నాయి: నూటనిక బలం, కూలుంబ్ బలం. తాడుకి రాయిని కట్టి గిరగిరా తిప్పితే రాయి అపకేంద్ర బలం (centrifugal force) ప్రభావం వల్ల బయటకి లాగబడుతూ ఉంటే, ధనావేశం ఉన్న కేంద్రం ఋణావేశం ఉన్న ఎలక్ట్రానుని తనవైపు కూలుంబ్ బలంతో లాగుతూ ఉంటుంది. ఎలక్ట్రాను గతి తప్పకుండా ప్రయాణం చెయ్యాలంటే ఈ రెండు బలాలు ఒకదానిని మరొకటి రద్దు చేసుకోవాలి. అనగా

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Zke^2}{r^2}$$

ఈ సమీకరణంలో ఎడమ పక్క ఉన్నది అపకేంద్ర బలం, కుడి పక్క ఉన్నది విద్యుత్ స్థితి బలం, $Z = 1$ అయితే ఇది ఉదజని అణువుని సూచిస్తుంది. (గమనించ దగ్గ ఒక చిన్న సూక్ష్మం. కూలుంబ్ శక్తిని వర్ణించడానికి వాడే సమీకరణాల్లో, హారంలో కేవలం r మాత్రమే ఉంటుంది కానీ కూలుంబ్ బలాన్ని వర్ణించేటప్పుడు దరిదాపు అదే సమీకరణాల్లో, హారంలో, r^2 ఉంటుంది.)

ఈ సమీకరణం ఉపయోగించి ఎలక్ట్రాను ఎంత వేగంగా పరిభ్రమిస్తున్నాదో లెక్క కట్టడం తేలిక.

$$v = \sqrt{\frac{Zke^2}{mr}}$$

ఈ విలువని, పైన ఇచ్చిన సమాచారాన్ని తీసుకుని ఎలక్ట్రాను యొక్క మొత్తం శక్తి ఎంతో లెక్క కట్టవచ్చు. ఆ లెక్క పూర్తి చేస్తే, ఈ దిగువ చూపిన E_{total} విలువ వస్తుంది.

$$E_{total} = -\frac{1}{2}mv^2$$

ఇక్కడ గమనించవలసిన విషయాలు: ఎలక్ట్రాను మొత్తం శక్తి ఋణాత్మకం. కేంద్రం నుండి దూరం అవుతున్న కొద్దీ ఎలక్ట్రాను వేగం తగ్గుతుంది. మొత్తం శక్తి కూడా క్రమేణా తగ్గి, అనంతమైన దూరం వెళ్లేసరికి శూన్యం అయిపోతుంది.

3 మూడవ అంచె

ఈ అంచె బోర్ ప్రతిపాదనకి ఆయువుపట్టు. వేడి గుళికల మాదిరి ప్రవహిస్తోందని ప్లాంక్ అంటున్నాడు. కాంతి గుళికల మాదిరి ఉంటుందని అయిన్^స్టయిన్ అప్పటికే 1905 లో రూఢి పరచేడు. అదే బాణిలోఎలాక్ట్రాను తిరగ గలిగే గతులు (electron orbits) కూడా గుళికల సూత్రానికి బద్ధమై ఉంటాయని అనుకుంటే ఏమవుతుంది? ఇదీ బోర్ ఆలోచన. అనగా కేంద్రం నుండి ఎలక్ట్రాను గతి ఉండే దూరాన్ని గుళికీకరించాలి; అనగా కొన్ని నిర్దేశించిన దూరాలు తప్ప అన్ని దూరాలూ నిషిద్ధం. ఈ విషయాన్నే ఈ దిగువ సమీకరణం చెబుతోంది.

$mvr = n\hbar$

ఈ సమీకరణం లో ఎడమపక్క ఉన్న అంశం ఎలక్ట్రాను యొక్క కోణీయ భారవేగం (angular momentum). ఇక్కడ $\hbar = (h/2\pi)$ *అనేది క్లుప్త ప్లాంక్ స్థిరాంకం (దీనిని "ఎచ్ బార్" అని చదువుతారు) కాగా,* $n = 1, 2, 3, ...$వగైరా పూర్ణాంకాలు మాత్రమే. కనుక ఎలక్ట్రాను యొక్క కోణీయ భారవేగం కొన్ని నిర్దేశించిన విలువలకి కట్టుబడి ఉండాలి. ఇక్కడ జరిగిన గుళికీకరణని ఇంగ్లీషులో, Quantization of angular momentum అని అంటారు. Theangular momentum $L = mvr$ is an *integer multiple* of $\hbar$ అని కూడా అంటారు.

చిన్న పిట్ట కథ: భౌతిక శాస్త్రంలోనూ, గుళిక వాదం లోను కోణీయ భారవేగం అనే భావానికి కీలకమైన పాత్ర ఉంది కనుక ఒక్క నిమిషం ఆగి దీని గురించి తెలుసుకుందాం. ఒక శాల్తీ గంటకి 30 కిలోమీటర్లు చొప్పున తిన్నగా ఉన్న రోడ్డు మీద నడుస్తోందని అనుకుందాం. అప్పుడు దాని జోరు (speed) గంటకి 30 కిలోమీటర్లు అని చెబుతాం. ఇదే శాల్తీ గంటకి 30 కిలోమీటర్లు చొప్పున తిన్నగా ఉన్న రోడ్డు మీద ఉత్తర దిశగా నడుస్తోందని అనుకుందాం. అప్పుడు దాని వేగం (velocity) ఉత్తర దిశగా గంటకి 30 కిలోమీటర్లు అని చెబుతాం. అనగా వేగం చెప్పినప్పుడు ఏ దిశలో కదులుతున్నాదో, ఎంత జోరుగా కదులుతున్నాదో, రెండూ చెప్పాలి. ఇలా కదులుతున్న కారుని మనం చేత్తో ఆపాలని అనుకున్నాం అనుకుందాం. అంతవరకు స్థిరంగా ఉండి, అప్పుడే కదలబోతున్న కారుని ఏ కోడి రామ్మూర్తి వంటి పహిల్వానో చేత్తో ఆపెయ్యగలడు. కానీ అదే పహిల్వాను 30 కిలోమీటర్లు వేగంతో కదులుతున్న కారుని ఆపలేడు. అనగా ఎక్కువ ఊపులో ఉన్న కారుని ఆపడం కష్టము. అనగా అప్పుడే కదలబోతున్న కారు ఊపు తక్కువ కనుక కోడి రామ్మూర్తి ఆపగలిగేడు, పరిగెడుతున్న కారు ఊపు ఎక్కువ కనుక ఆపలేకపోయాడు. ఈ ఊపు అనే భావాన్ని ఇంగ్లీషులో momentum అంటారు. దీనిని p అని ఇంగ్లీషు అక్షరంతో సూచించడం ప్రపంచవ్యాప్తంగా ఉన్న సంప్రదాయం. దీని విలువ కదిలే వస్తువు యొక్క భారం (mass) ని, వేగం (velocity) చేత గుణించగా వస్తుంది కనుక దీనిని భారవేగం అంటారు. అనగా $p = mv$.

ఇప్పుడు ఒక తాడుకి రాయిని కట్టి గిరగిరా తిప్పుతున్నామనుకుందాం. కారుకి బదులు రాయిని వాడేను. తిన్నగా ప్రయాణం చెయ్యడానికి బదులు రాయి గుండ్రంగా ప్రయాణం చేస్తున్నాది. ఇలా గుండ్రంగా తిరుగుతున్న రాయికి కూడా ఊపు ఉంటుంది. ఈ రకం ఊపుని ఇంగ్లీషులో angular momentum (కోణీయ భారవేగం) అంటారు. ఈ ప్రపంచంలో గుండ్రంగా గిర్రున తిరిగే శాల్తీలు చాల ఉన్నాయి: బొంగరాలు, గ్రహాలు, క్షీరసాగరాలు, వగైరా. వీటన్నిటికీ కూడ కోణీయ భారవేగం ఉంటుంది. ఈ కోణీయ భారవేగం ఎప్పుడూ నాశనం కాదు. ఒక చోటు నుండి మరొక చోటుకి బదిలీ కావచ్చు కానీ నాశనం కాదు. దీనినే Law of Conservation of Angular Momentum అంటారు. ఇక్కడితో ఈ పిట్టకథ అయిపోయింది కానీ ఈ సూత్రం అవసరం మనకి పదేపదే వస్తుంది.

ఇప్పుడు పైన చూపిన సమాచారం సందర్భోచితంగా వాడి r విలువ కట్టవచ్చు.

$$m\sqrt{\frac{kZe^2}{mr}} = n\hbar$$

రెండు పక్కలా వర్గు చేసి పరిష్కరిస్తే, ఏయే r విలువలు సమ్మతమో తెలుస్తుంది.

$$r = \frac{n^2\hbar^2}{Zke^2m}$$

మనం అధ్యయనం చేసే అణువు ఉదజని అయితే $Z = 1$ అవుతుంది (ఉదజనిలో ఒకే ఒక ప్రోటాను ఉంది కనుక). ఇప్పుడు పై సమీకరణంలో నిర్దేశించిన n విలువలని వాడి చూద్దాం. అందుకని r కి ఒక పాదుక (subscript) n తగిలిద్దాం.

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{Zke^2 m}$$

ఉదాహరణకి, $n = 1$ అయితే ఉన్న ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను r_1 దూరంలో తిరుగుతూ ఉంటుంది.

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{ke^2 m} \approx 5.29 \times 10^{-11}\, m$$

ఈ సమీకరణం లో $\hbar = (h/2\pi), k, e, m$ *విలువలు తెలుసు కనుక* r_1 *విలువ కట్టగలిగేము.* దీనినే బోర్ వ్యాసార్థం (Bohr radius) అంటారు.

ఇప్పుడు ఈ అధ్యాయం మొదట్లో అడిగిన ప్రశ్నకి సమాధానం చెప్పొచ్చు. అనగా, ఉదజని అణువు ఎంత "పెద్దదో" ఈ వ్యాసార్థం విలువని బట్టి ఊహించవచ్చు. ఈ సంఖ్యని గుర్తు పెట్టుకోవడం ఎలా? ఇది ఉరమరగా $0.5 \times 10^{-10} meter$ లేదా 0.5 ఏంగ్^ష్ట్రం. ఈ ఏంగ్^ష్ట్రం లు SI units కావు కానీ, "అర" (½) గుర్తు ఉంచుకోవడం తేలిక. "అణువు ఎంత పెద్దగా ఉంటుందిరా?" అనగానే

“దాని వ్యాసం ఒక ఏంగ్^ష్ట్రం ఉంటుంది” అనడం తేలిక కదా! ఏంగ్^ష్ట్రం అంటే మీటరులో పది బిలియనో వంతు.

అణువు “ఇంత” చిన్నగా ఉన్నంత మాత్రాన కంటికి ఎందుకు కనిపించకూడదు? సూక్ష్మ దర్శనిలో చూస్తే కనబడవచ్చు కదా? ఏ వస్తువు అయినా కంటికి కనబడాలంటే దాని మీద కాంతి పడి, అది ప్రతిబింబించి మన కంటిని చేరాలి. కాంతి కెరటాల పొడుగు 4,000 (ఎరుపు రంగు) నుండి 7,000 (ఊదా రంగు) ఏంగ్^ష్ట్రంలు ఉంటాయి. అణువు వ్యాసం ఒక ఏంగ్^ష్ట్రం ఉంటుందని ఇప్పుడే అంచనా వేసేం. కనుక అంత పెద్ద అంగలు వేసుకుంటూ పోతున్న కాంతి తరంగానికి నలుసులా ఉన్న అణువు ఆనదు. ఎలక్ట్రానుని “చూడా”లంటే బాగా పొట్టిగా ఉన్న ఏ x–కిరణాలనో వాడాలి. కానీ, అవి కంటికి కనబడవు!

4 నాలుగవ అంచె:

$n = 1$ అయినప్పుడు ఎలక్ట్రాను “భూస్థానం” (ground state) లోఉందని అంటారు. ఇది కనిష్ట శక్తి స్థానం.

ఇదే విధంగా $n = 1, 2, 3, \ldots$ అనుకుంటూ ఎలక్ట్రానులు తిరగ గలిగే పరిధుల దూరాలని లెక్క కట్ట వచ్చు. అవి ఉత్తేజిత శక్తి స్థానాలు (excited states) అవుతాయి.

ఇప్పుడు భూస్థానంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులో ఎంత శక్తి ఉందో లెక్క కడితే,

$$E = -\frac{Zke^2}{2r_n} = -\frac{Z^2(ke^2)^2m}{2\hbar^2n^2} \approx \frac{-13.6Z^2}{n^2}eV$$

అనగా భూస్థితిలో ఉన్న (అంటే అట్ట అడుగున ఉన్న) ఎలక్ట్రాను శక్తి -13.6 ఎలక్ట్రాన్ ఓల్టులు. శక్తిని కొలవడానికి "జూల్" వాడమని SI పద్ధతి చెబుతోంది కదా, మరి ఈ ఎలక్ట్రాను వోల్టు ఎక్కడ నుండి వచ్చింది? జూల్ చాల పెద్ద కొలమానం. ఈ సందర్భానికి అనుకూలంగా ఉండే కొలత చిన్నదయిన ఎలక్ట్రాను వోల్టు. రెండు పళ్లేల మధ్య 1 ఓల్టు విద్యుత్ పీడనం అమర్చినప్పుడు ఆ క్షేత్రంలో ఒక ఎలక్ట్రాను సంతరించుకున్న శక్తిని ఒక ఎలక్ట్రాను వోల్టు అంటారు. అనగా,

1.602×10^{-19} కూలుంబులు $\times 1$ ఓల్టు $= 1.602 \times 10^{-19}$ జూలులు $= 1$ ఎలక్ట్రాను వోల్టు

ఇక్కడ -13.6 అంటే కేంద్రానికి అనంతమైన దూరంలో ఉన్న ఎలక్ట్రాను శక్తితో పోల్చి చూస్తే భూస్థితిలో ఉన్న ఎలక్ట్రాను శక్తి 13.6 ఎలక్ట్రాను వోల్టులు తక్కువ అని అర్థం. అనగా కేంద్రపు ఆకర్షక

శక్తిలో చిక్కుకున్న ఎలక్ట్రాను బావిలో కప్ప లాంటిది. ఆ బావి ఆడుగు నుండి బయట పడాలంటే కప్ప శక్తిని వెచ్చించినట్లే కేంద్రపు పట్టు లోంచి బయట పడాలంటే ఎలక్ట్రాను శక్తిని వెచ్చించాలి.

$n = 2$అయినప్పుడు ఎలక్ట్రాను శక్తి -3.4 ఎలక్ట్రాను వోల్టులు ఉంటుంది. $n = 3$ అయినప్పుడు ఎలక్ట్రాను శక్తి -1.51 ఎలక్ట్రాను వోల్టులు ఉంటుంది. అనగా, అణువు ఉద్రేకం పొంది శక్తి సంతరించుకుంటూ ఉంటే అట్టడుగున ఉన్న శక్తి స్థావరం నుండి ఎలక్ట్రాను అంచెలంచెలుగా ఊర్ధ్వ స్థాయిలలోకి వెళుతుంది. బావి లోని నీటి మట్టం భూస్థితి (ground state, $n = 1$) లేదా "మొదటి మెట్టు " అనుకుంటే అడుగు నుండి పైకి చూస్తున్నప్పుడు కనిపించే రెండవ మెట్టు $n = 2$ అవుతుంది. ఆ మెట్టు మీద నుండి బయటకి పడడానికి 3.4 ఎలక్ట్రాను వోల్టులు సరిపోతుంది. మూడవ మెట్టు లేదా $n = 3$ నుండి బయటకి పడడానికి కేవలం 1.51 ఎలక్ట్రాను వోల్టులు చాలు.

ఇప్పుడు దిగువ బొమ్మ చూడండి. ఇది గతి మార్గాల చిత్రం (diagram of orbits) కాదు, ఇది శక్తి స్థానాల చిత్రం (energy-level diagram). ఈ పటంలో పసుపు పచ్చటి గీత చూడండి. ఈ గీత రెండవ ($n = 2$) శక్తి స్థానం నుండి రెచ్చగొట్టబడ్డ ఎలక్ట్రాను ఆరవ $(n = 6)$ స్థానం చేరుకున్నట్లు చెబుతోంది. ఉద్రేకం చల్లారినప్పుడు ఎలక్ట్రాను కిందకి , అనగా 2 వ స్థానంలోకైనా పడిపోవచ్చు, 3 వ స్థానంలోకైనా పడిపోవచ్చు ....., 5 వ స్థానంలోకైనా పడిపోవచ్చు. ఇలా ఉన్నత స్థానం నుండి కిందికి పడినప్పుడల్లా కొంత శక్తిని కోల్పోతుంది. అలా కోల్పోయిన శక్తి ఎక్కడకి

పోతుంది? ఒక తేజాణువు (ఫోటాను) రూపంలో విడుదల అవుతుంది. అలా విడుదల అయిన ఫోటాను ఏ రంగులో కనబడుతుందో బొమ్మలో చూపేను. ఇవే మనకి వర్ణమాలలో కనబడే గీతలు! వీటినే బాల్మర్ శ్రేణి గీతలు అంటారు. ఇదే సమాచారాన్ని ఎలక్ట్రాను గతి మార్గాల ద్వారా కూడా తరువాత బొమ్మలో చూపేను. అనగా ఒకే పరిస్థితిని రెండు కోణాల ద్వారా చిత్రించేను.

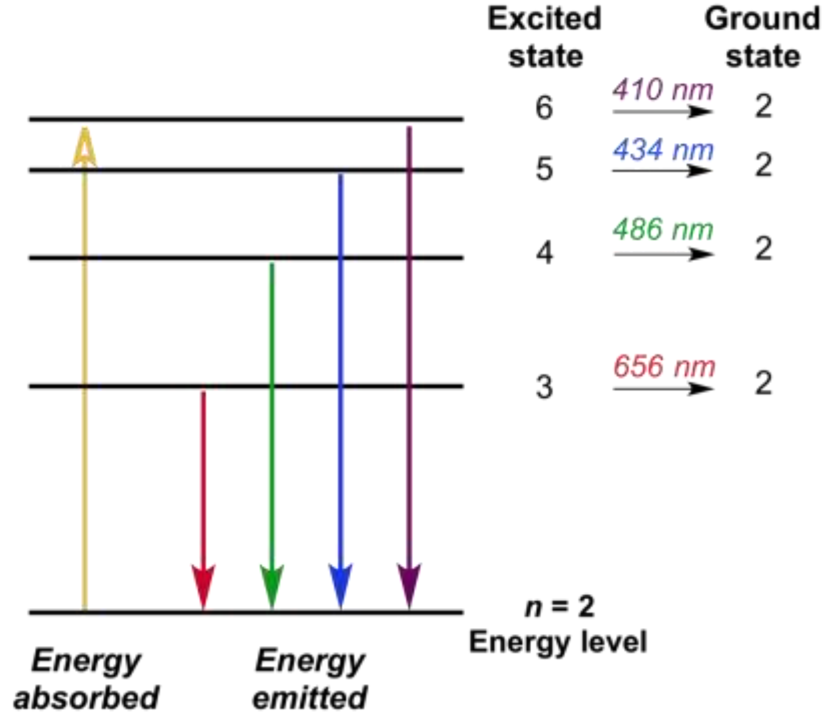
ఇప్పుడు

$$mvr = n\hbar$$

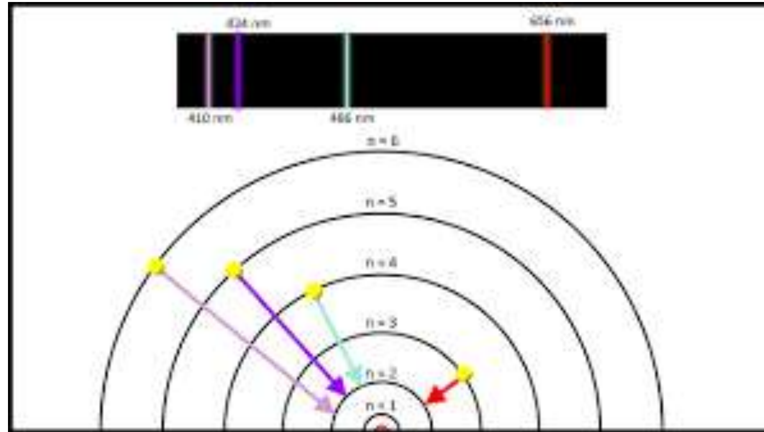
అనే సమీకరణాన్ని తీసుకుని ఎలక్ట్రాను వేగం (velociy) ఎంతో తేలికగా లెక్క కట్టవచ్చు. అప్పుడు

$$v = 2 \times 10^6 \, meters/sec$$

వస్తుంది. ఇది కాంతి వేగంలో 10 వ వంతు. అంటే ఎలక్ట్రాను అతి జోరుగా తిరుగుతున్నాదనే కదా అర్థం అవుతోంది. (ఇంత జోరుగా ఎలక్ట్రాను ప్రయాణం చేస్తున్నప్పుడు అయిన్^స్టయిన్ ప్రత్యేక సాపేక్ష సిద్ధాంతం వాడాలా? ఆలోచించండి!)



బొమ్మ 1. ఎలక్ట్రాను శక్తి స్థానాలు, బాల్మర్ శ్రేణి గీతలు



బొమ్మ 2. ఎలక్ట్రాను గతి మార్గాలు, బాల్మర్ శ్రేణి గీతలు, ఉదజని వర్ణమాల

5 బాల్మర్ శ్రేణి గీతలు – చారిత్రక నేపథ్యం

నీల్స్ బోర్ తన నమూనాని ప్రతిపాదించడానికి ముందే, సా . శ. 1853 లో, స్వీడన్ లోని ఉప్సల విశ్వవిద్యాలయంలో ఆచార్య ఏంగ్^ష్ట్రం ఉదజని వాయువుని ఒక గాజు గొట్టంలో బంధించి దాని గుండా విద్యుత్తు ప్రవహించేలా చేస్తే ఆ గొట్టం వెలుగులు విరజిమ్మింది. ఆ వెలుగుని వర్ణమాలాదర్శనిలో చూస్తే ఆయనకి అందులో ఎరుపు, ఆకుపచ్చ, నీలం, ఉదా రంగులతో నాలుగు గీతలు కనిపించేయి. “కనిపించేయి” అని చెప్పి ఊరుకున్నాడాయన. (పైన ఇచ్చిన బొమ్మలో ఆ గీతలని చూడవచ్చు.)

తరువాత, 1885 లో, స్విడ్జర్లండ్ లో హైస్కూలు లెక్కల మేష్టారు, జె జె బాల్మర్ అనే ఆయన, ఈ గీతలని చూసి, వాటి తరంగ సంఖ్య (wave number = 1/wave length) ల మధ్య ఒక విచిత్రమైన గణిత సంబంధం ఉన్నట్లు కనిపెట్టేడు. అందుకని ఆ గీతలకి బాల్మర్ శ్రేణి అని పేరు పెట్టేరు. ఆ గీతలు ఏమిటో, వాటి మధ్య కనిపించిన ఆ విచిత్ర గణిత సంబంధం అర్థం ఏమిటో అప్పట్లో ఎవ్వరికి అర్థం కాలేదు. బోర్ నమూనాని ఉపయోగించి ఆ గణిత సంబంధానికి భాష్యం చెప్పవచ్చు.

6 ముక్తాయింపు

పైన చూపించిన బోర్ నమూనా మన ఆలోచనా సరళిలో భూకంపం అంత మార్పుకి కారణభూతమైనది కానీ ఎలక్ట్రాను ప్రవర్తన నిజానికి ఇలా ఉండదని తేలింది. అనగా బోర్ నమూనా కొత్త తరహా ఆలోచనా స్రవంతిని ప్రేరేపించినా, కొన్ని సందర్భాలలో ప్రయోగాలు ఆ నమూనాని సమర్ధించినా, ఆ నమూనా మాత్రం సరి అయినది కాదని ఋజువు అయింది. అయినా సరే ఎందుకింత శ్రమ పడి ఈ రామాయణమంతా రాసేను? ఒట్టిపోయిన ఆవుని పట్టుకు ఎంత పితికినా పాలు రాకపోవచ్చు కానీ పాలు పితకడం నేర్చుకోవచ్చు కదా. అదే విధంగా ఈ బోర్ నమూనాని ఆధారంగా చేసుకుని గుళిక శాస్త్రం లోని మెళుకువలు ఎన్నో నేర్చుకోవచ్చు.

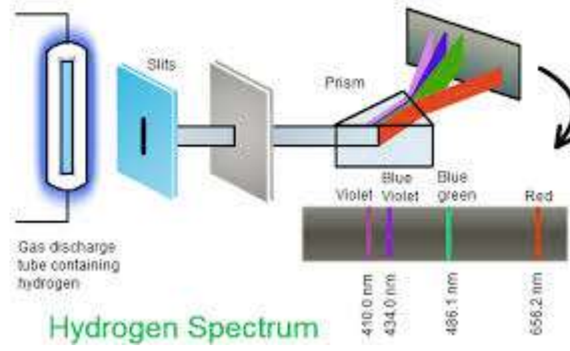
12. బోర్ నమూనాకి అభ్యంతరాలు

బోర్ నమూనా ఏవో చిన్న చిన్న విజయాలు సాధించింది కానీ ఎక్కువ కాలం నిలదొక్కుకోలేకపోయింది. పురిటికి ముందే సంధి కొట్టినట్లు బోర్ నమూనా ఆవిష్కరణ జరగక ముందే దాని పతనానికి కారణభూతమైన ప్రతికూల వాయువులు పొడచూపేయి. ఈ అభ్యంతరాలన్నీ వర్ణమాలల లో కనిపించే గీతల సూక్ష్మ శిల్పం (fine structure) కి సంబంధించినవే.

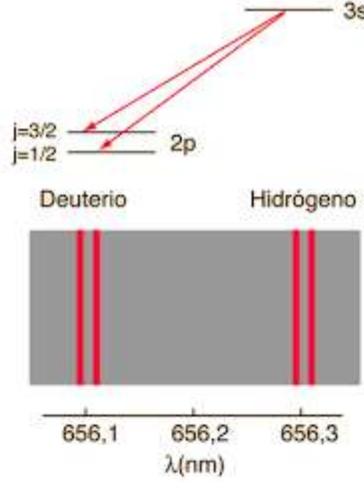
1 వర్ణమాలలో బొద్దు గీతలు

బోర్ నమూనా పై మొదటి వేటు అమెరికాలో మైకెల్సన్, మోర్లే అనే ఇద్దరు శాస్త్రవేత్తలు వేసేరు. వీరిరువురు అమెరికా నుండి నోబెల్ బహుమానం అందుకున్న మొట్టమొదటివారు. అంతవరకు భౌతిక శాస్త్రంలో జరుగుతున్న విప్లవానికి కారకులైన అతిరథ మహారథులంతా యూరప్ నుండి వచ్చినవారే. అంతవరకు నిద్రపోతున్న అమెరికా ఒళ్ళు విరుచుకుంటూ నెమ్మదిగా లేస్తోంది. ఈ సందర్భంలో, 1887లో, వీరిరువురు రెండు ప్రతిష్ఠాత్మకమైన ప్రయోగాలు చేసేరు. ఒక ప్రయోగంలో కాంతి వేగం కొలిచి అయిన్^స్టయిన్ ప్రతిపాదించిన ప్రత్యేక సాపేక్ష వాదానికి ప్రేరేపకులు అయేరు. రెండవ ప్రయోగంలో ఈ ఇద్దరు శాస్త్రవేత్తలు ఉదజని ఉద్గారించే వర్ణమాలని అధ్యయనం చేస్తూ అందులోని ఎర్ర గీత మిగిలిన గీతల కంటే కాసింత బొద్దుగా ఉన్నట్లు గమనించేరు. అది బామర్ శ్రేణి గీతలలో 3

వ శక్తి స్థావరం (energy level) నుండి 2 వ శక్తి స్థావరానికి ఎలక్ట్రాను దిగజారినప్పుడు కనిపించే గీత. దాని తరంగ దైర్ఘ్యం $656\,nm$ ఉండాలి. కానీ జాగ్రత్తగా పరిశీలించి చూస్తే అక్కడ నిజానికి రెండు ఎర్ర గీతలు పక్కపక్కనే ఉన్నాయి. అందుకే అది సన్నంగా కాకుండా బొద్దుగా కనిపించింది. (బొమ్మ 2 లో కుడి వైపు ఉన్న జంట గీతలు చూడండి.)



బొమ్మ 1. ఉదజని ఉద్గారించే వర్ణమాలని చూడడానికి ప్రయోగం అమెరిక

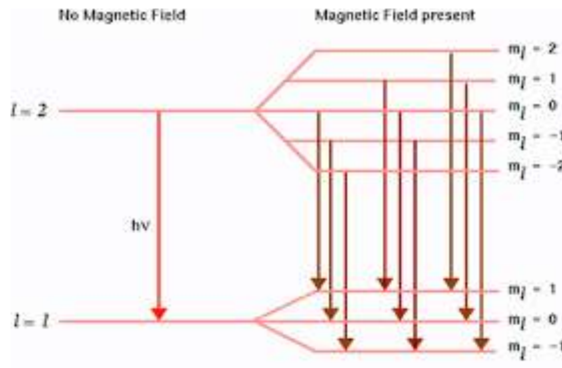


బొమ్మ 2. ఉదజని ఉద్గార వర్ణమాలలో గీతల చీలిక (ఇది నిజం వర్ణమాల కాదు. బొమ్మ మాత్రమే). ఇక్కడ 3వ శక్తి స్థావరం 3s నుండి 2వ శక్తి స్థావరం $2p$ కి రెండు ఎలక్ట్రానులు దిగజారేయి.

బోర్ నమూనా ప్రకారం ఒక ఎలక్ట్రాను 3 వ శక్తి స్థావరం నుండి 2 వ శక్తి స్థావరానికి దిగజారినప్పుడు ఒక ఎర్ర గీత కనిపించాలి; కానీ ఇక్కడ రెండు కనబడుతున్నాయి. అనగా రెండు ఎలక్ట్రానులలో ఒకటి 3 వ శక్తి స్థావరానికి "కాసింత" పైనుండి 2 వ శక్తి స్థావరానికి దిగజారి ఉండాలి, రెండవది 3 వ శక్తి స్థావరానికి "కాసింత" కింద నుండి 2 వ శక్తి స్థావరానికి దిగజారి ఉండాలి. లేదా, బయలుదేరడం 3 వ శక్తి స్థావరం దగ్గరే బయలుదేరి, చేరడం 2 వ శక్తి స్థావరానికి "కాసింత" ఇటు అటుగా చేరి ఉండాలి. కానీ బోర్ నమూనా ప్రకారం 1 వ శక్తి స్థావరం $n = 1$ దగ్గర, 2 వ శక్తి స్థావరం $n = 2$ దగ్గర, 3 వ శక్తి స్థావరం $n = 3$ దగ్గర, ... ఉండాలి తప్ప మధ్యేమార్గంలో "ఇటు, అటు" ఉండకూడదు. అనగా, బోర్ నమూనా మైకెల్సన్–మోర్లే ప్రయోగ ఫలితానికి కారణం చెప్పలేకపోయింది.

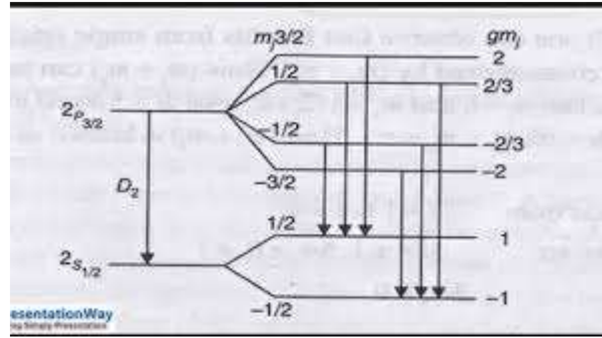
2 జీమన్ ప్రభావం

ఇది ఇలా ఉండగా, హాలండ్ లో, 1896 లో, పీట్ జీమన్ అనే పోస్ట్ డాక్టరేట్ చేస్తున్న విద్యార్థి మరొక ప్రయోగం చేసేడు. మైకెల్సన్, మోర్లే చేసినట్లే ఇతను కూడా ఉదజని ఉద్గారించే వర్ణమాలని అధ్యయనం చేస్తూ ఆ పరికరాన్ని ఒక అయస్కాంత క్షేత్రం B లో పెట్టేడు. అయస్కాంత క్షేత్రం $B = 0$ అయిన సందర్భాలలో కనిపించిన బొద్దు ఎర్ర గీత అయస్కాంత క్షేత్రం ప్రవేశపెట్టేసరికి చిట్లిపోయి ఎన్నో ఎర్ర గీతలుగా కనిపించింది. అంతే కాదు. అయస్కాంత క్షేత్రం బలం పెరిగిన కొద్దీ ఆ చిట్లిపోయిన గీతల మధ్య దూరం పెరగడం మొదలు పెట్టింది. బోర్ నమూనా జీమన్ ప్రయోగ ఫలితానికి కారణం చెప్పలేకపోయింది. (బొమ్మ 3 చూడండి.)



బొమ్మ 3. జీమన్ ప్రభావం (ఎడమ వైపు) ఒంటిగా ఉన్న శక్తి స్థావరాలు అయస్కాంత క్షేత్రం తగలగానే (కుడి వైపు) చీలి పోయాయి

3 స్టార్క్ ప్రభావం



బొమ్మ 4. స్టార్క్ ప్రభావం (ఎడమ వైపు) ఒంటిగా ఉన్న శక్తి స్థావరాలు విద్యుత్ క్షేత్రం తగలగానే (కుడి వైపు) చీలి పోయాయి

ఇలాంటి అభ్యంతరాలు ఇంకా ఉన్నాయి. వర్ణమాలలో కనిపించే గీతలు కొన్ని ప్రకాశవంతంగాను, కొన్ని నిస్తేజంగాను ఎందుకు కనిపిస్తాయో బోర్ నమూనా చెప్పలేకపోయింది.

బోర్ నమూనాలో ఎలక్ట్రానులు కేంద్రకం చుట్టూ ఎందుకు వృత్తాకారంలోనే చక్కెర్లు కొట్టాలి? సూర్యుడి చుట్టూ గ్రహాల మాదిరి దీర్ఘవృత్తాకారంలో తిరుగుతున్నట్లు ఎందుకు ఉహించుకోకూడదు?

బోర్ నమూనా కేంద్రకం చుట్టూ ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను తిరుగుతున్నా సందర్భాలలోనే అన్వయిస్తుంది. మిగిలిన ఎలక్ట్రానుల మాట ఏమిటి?

4. స్టెర్న్ – గెర్లాక్ ప్రయోగం

జెర్మనీలోని హేమ్బర్గ్ విశ్వవిద్యాలయంలో 1920 దశకంలో అట్టో స్టెర్న్ , వాల్టర్ గెర్లాక్ కొన్ని ప్రయోగాలు చేసేరు. కదులుతూన్న విద్యుత్ ఉత్తేజితాలు (electrical charges) అయస్కాంత క్షేత్రాలని పుట్టిస్తాయన్నది మనందరికీ తెలుసు. (దీనికి విపర్యంగా ఒక అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఒక తీగని కదిపితే ఆ తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహం పుడుతుంది.) ఈ లెక్కని కేంద్రకం చుట్టూ ఎలక్ట్రాను తిరుగుతున్నాదని మనం ప్రతిపాదిస్తే, అలా తిరిగే ఎలక్ట్రాను కూడా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని పుట్టించాలి. అలా పుట్టిన క్షేత్రాన్ని కొలుద్దామని స్టెర్న్ – గెర్లాక్ ద్వయం ప్రయత్నించేరు. కేంద్రం చుట్టూ తిరుగుతున్న కదలిక వల్ల వారు ఆశించినట్లు అయస్కాంత క్షేత్రం పుట్టడం పుట్టింది. ఆశ్చర్యం ఏమిటంటే వారికీ మరొక "పిల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం" కూడా కనిపించింది. ఎలక్ట్రాను తనలో తాను ఆత్మ ప్రదక్షిణం కూడా చేసుకుంటున్నాదని మనం ఉహించుకుంటే ఈ "పిల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం" లెక్కకి సరిపోతోంది. ఈ రకం "ఆత్మ ప్రదక్షిణ" ని భ్రమణం (spin) అనడం మొదలు పెట్టేరు.

భూమి సూర్యుడి చుట్టూ తిరుగుతూన్నప్పుడు పుట్టే కోణీయ భారవేగం (angular momentum) తోపాటు, ఆత్మ ప్రదక్షిణం వల్ల పుట్టిన భ్రమణ కోణీయ భారవేగం (spin angular moment) లాగనే ఎలక్ట్రానుకి కూడా కోణీయ భారవేగం తోపాటు భ్రమణ కోణీయ భారవేగం ఉంటుందని భ్రమ పడ్డారు. కానీ, ఈ భ్రమ నిజం అవ్వాలంటే ఎలక్ట్రాను కాంతి వేగం కంటే జోరుగా ఆత్మ ప్రదక్షిణం చేసుకోవాలి. అది అసంభవం. కనుక ఆ వాదం వీగిపోయింది. కనుక గుళిక వాదంలో కనబడే భ్రమణానికి సాంప్రదాయ భౌతిక శాస్త్రంలో కనబడే భ్రమణానికి పేరులో తప్ప పోలిక లేదని స్పష్టం అయిపోయింది. పైపెచ్చు గుళిక వాదంలో కనబడే ఈ భ్రమణాన్ని కూడా గుళికీకరించవలసి వచ్చింది. అనగా, ఎలక్ట్రానుకి రెండు రకాల భ్రమణము మాత్రమే వీలు పడుతుంది. కుడి నుండి ఎడమకి తిరిగితే దానిని ఊర్ధ్వ భ్రమణము (spin up), లేదా ఎడమ నుండి కుడికి తిరిగితే దానిని అధో భ్రమణము (spin down) అని ఊహించుకోవచ్చు కాని ఎలక్ట్రాను ఆత్మప్రదక్షిణం చేసుకోవటం లేదు అని మాత్రం సర్వదా గుర్తు పెట్టుకోవాలి.

ఏది ఏమయినప్పటికీ, ఎలక్ట్రాను స్థితిని వర్ణించడానికి నాలుగు గుళిక సంఖ్యలు అవసరం అని మాత్రం తేలింది. మొదటి గుళిక సంఖ్య n ఎలక్ట్రాను కేంద్రానికి ఎంత దూరంలో ఉందో (అనగా ఎలక్ట్రాను కోశం ఎంత పెద్దదో) చెబుతుంది, లేదా ఎలక్ట్రాను ఏ శక్తి స్థానంలో ఉందో చెబుతుంది. రెండవ గుళిక సంఖ్య l ఎలక్ట్రాను ఉండే ఉప-కోశం ఏ ఆకారంలో ఉందో చెబుతుంది. మూడవ గుళిక సంఖ్య m

ఎలక్ట్రాను ఉండే ఉప–కోశం ఏ దిశాశీలం (orientation) తో ఉందో చెబుతుంది. నాలుగవ గుళిక సంఖ్య s ఎలక్ట్రాను భ్రమణం ఎగువకి ఉందో, దిగువకి ఉందో చెబుతుంది.

13. సోమర్ఫెల్డ్ నమూనా

ఈ సందర్భంలో జెర్మనీలో ఆర్నాల్డ్ సోమర్ఫెల్డ్ బోర్ నమూనాకి అతుకులు వేసి కాసింత మరమ్మత్తు చేసేడు. ఈ ఆర్నాల్డ్ సోమర్ఫెల్డ్ పర్యవేక్షణలో విద్యని అభ్యసించిన వారెందరికో నోబెల్ బహుమానాలు వచ్చేయి కానీ ఈయనకి రాలేదు. ఈయన ఒకసారి మద్రాసు వచ్చారు. అప్పుడు పందొమ్మిది ఏళ్ళ వయస్సులో ఉన్న సుబ్రహ్మణ్య చంద్రశేఖర్ ఈయనని కలుసుకున్నాడు. హోటలు గదిలో కూర్చుని ఈయన చంద్రశేఖర్ కి కూడా పాఠం చెప్పేరు!

1 సోమర్ఫెల్డ్ నమూనాలో రెండు కొత్త ఊహలు

(1) ఎలక్ట్రానులు కేంద్రకం చుట్టూ గుండ్రంగా, వృత్తాకారంలో తిరగొచ్చు, లేదా దీర్ఘవృత్తాకారంలో తిరగొచ్చు. దీర్ఘవృత్తాకారంలో తిరిగిన సందర్భాలలో అణువు యొక్క కేంద్రకం ఒక నాభి దగ్గర ఉంటుంది. దీర్ఘవృత్తాకారపు గతిలో తిరుగుతున్నప్పుడు ఎలక్ట్రాను వేగం స్థిరంగా ఉండకుండా, పెరుగుతూ, తరుగుతూ ఉంటుంది. కనుక సాపేక్ష సూత్రం ప్రకారం ఎలక్ట్రాను భారం (mass) కూడా మారుతూ ఉంటుంది. ఈ విషయాన్ని లెక్కలోకి తీసుకోవాలి.

(2) దీర్ఘవృత్తాకారపు గతి వెంబడి ఎలక్ట్రాను ప్రయాణం చేస్తున్నప్పుడు రెండు చలరాసులు రంగంలోకి దిగుతాయి: (క) దీర్ఘవృత్తపు నాభి నుండి (అనగా, కేంద్రకం నుండి) ఎలక్ట్రాను దూరం, (చ) దీర్ఘవృత్తపు నాభి దగ్గర ఎలక్ట్రాను చేసే కోణం (దిగంశ కోణం = azimuthal angle). ఈ విషయాన్ని కూడా లెక్కలోకి తీసుకోవాలి.

ఈ రెండు చలరాసులని లెక్క లోకి తీసుకుంటూ సోమర్ఫెల్డ్ రెండు గుళిక సంఖ్యలని ప్రవేశపెట్టేరు:

(1) ప్రథమ గుళిక సంఖ్య n – బోర్ నమూనాలో లాగానే – ఎలక్ట్రాను శక్తి స్థానాన్ని నిర్దేశిస్తుంది.

(2) ఎలక్ట్రాను కోణీయ ఉద్వేగం (angular momentum) ఏమిటో చెప్పడానికి విగతి గుళిక సంఖ్య (orbital quantum number) లేదా దిగంశ గుళిక సంఖ్య (azimuthal quantum number) నిర్దేశిస్తుంది. ఈ కొత్త గుళిక సంఖ్య l విలువ 0 నుండి $(n-1)$ వరకు ఒకటేసి చొప్పున పెరుగుతూ వెళుతుంది. ఈ విగతి గుళిక సంఖ్య ఏయే దీర్ఘవృత్తాకారపు గతులు ఆమోదయోగ్యాలో ఈ దిగువ సమీకరణం ఉపయోగించి చెబుతుంది.

$$\frac{a}{b} = \frac{(l+1)}{n}$$

ఇక్కడ $a =$ దీర్ఘవృత్తపు భృహదక్షం పొడుగు, $b =$ దీర్ఘవృత్తపు లఘు అక్షం పొడుగు.

ఇప్పుడు రకరకాల పరిస్థితులు పరిశీలిద్దాం.

మొదట $n = 1$ అయినప్పుడు, మన నియమం ప్రకారం $l = 0$ అవుతుంది కదా! ఇక్కడ $n = 1$ కనుక ఎలక్ట్రాను మొదటి శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది. ఇప్పుడు $(a/b) = 1$ అవుతుంది. అనగా, దీర్ఘవృత్తపు భృహదక్షం పొడుగు = దీర్ఘవృత్తపు లఘు అక్షం పొడుగు. అనగా, ఈ శక్తి స్థానంలో ఉన్న ఎలక్ట్రాను గతి దీర్ఘవృత్తపు ఆకారంలో ఉండదు; వృత్తాకారంలో – అనగా గుండ్రంగా – ఉంటుంది. అనగా, ఈ శక్తి స్థానమూ, బోర్ నమూనాలోని శక్తి స్థానమూ రెండూ ఒక్కటే! ఈ విలువలు ఉన్న శక్తి స్థానాన్ని $1s$ ఉప–కోశం ($1s$ sub–shell) అంటారు. ఇక్కడ s అనగా sharp అని అర్థం. ఈ sharp ఎక్కడ నుండి వచ్చిందంటే ..... అది వర్ణమాలలు అధ్యయనం చేసే వారు పెట్టిన పేరు.

ఇప్పుడు $n = 2$ సంగతి చూద్దాం. ఈ సందర్భంలో $l = 0$ కానీ $l = 1$ కానీ అవుతాయి. మొదటగా, $n = 2, l = 0$ అయినప్పుడు,

$$\frac{a}{b} = \frac{l+1}{n}$$

లేదా $b = a/2$. కనుక ఈ శక్తి స్థానంలో ఉన్న ఎలక్ట్రాను గతి దీర్ఘవృత్తాకారంలో ఉంటుంది. దీనికి $2s$ ఉప–కోశం ($n = 2$ కనుక) అని పేరు పెట్టేరు.

ఇప్పుడు $n = 2, l = 1$ అయినప్పుడు ఏమవుతుందో చూద్దాం. ఇప్పుడు

$$\frac{a}{b} = \frac{l+1}{n} = \frac{2}{2} = 1$$

లేదా $b = a$. కనుక ఈ శక్తి స్థానంలో ఉన్న ఎలక్ట్రాను గతి వృత్తాకారంలో ఉంటుంది. దీనికి $2p$ ఉప-కోశం ($n = 2$ కనుక) అని పేరు పెట్టేరు.

ఇదే పద్ధతిలో $n = 3; l = 0, 1, 2$ అయిన సందర్భాలలో $3s, 3p, 3d$ ఉప-కోశాలు వస్తాయి. వీటినే sub-shells అని కానీ, sub-energy levels అని కానీ అంటారు.

ఇప్పుడు $n = 4; l = 0, 1, 2, 3$ అయిన సందర్భాలలో $4s, 4p, 4d, 4f$ ఉప-కోశాలు వస్తాయని చదువరులు గ్రహించగలరు.

అనగా, n అనే చలరాసి మొదటి కోశం లేదా శక్తి స్థానం (energy levels) కేంద్రకానికి ఎంత దూరంలో ఉందో చెబుతుంది, l అనే చలరాసి కోశం ఆకారాన్ని వర్ణిస్తుంది (లేదా, ఆ శక్తి స్థానం ఎలా చిట్లిపోయిందో చెబుతుంది). నిజానికి శక్తి స్థానం (energy level) అన్నా, కోశం (shell) అన్నా ఒక్కటే! ఒక ఎలక్ట్రాను కేంద్రకానికి ఎంత దూరంలో ఉందో చెప్పేటప్పుడు కోశం అనే మాట వాడతారు, ఎలక్ట్రానులో ఎంత శక్తి ఉందో చెప్పేటప్పుడు శక్తి స్థానం అనే మాట వాడతారు,

ఎలక్ట్రానుల గతులలో ఉప-గతులు (లేదా శక్తి స్థానాల్లో ఉప-శక్తి స్థానాలు) ఉంటాయని సోమర్ఫెల్డ్ ప్రవేశ పెట్టిన ఊహ. ఈ ఉప శక్తి స్థానాలకి వర్ణమాలల లోని గీతల లక్షణాలని పురస్కరించుకుని s (sharp), p (principal), d (diffuse), f (fine), g అనే పేర్లు పెట్టి వర్గీకరించేరు. అనగా

$l = 0$ అన్నా ఉప-శక్తి స్థానం s అన్నా ఒక్కటే!

$l = 1$ అన్నా ఉప-శక్తి స్థానం p అన్నా ఒక్కటే!

$l = 2$ అన్నా ఉప-శక్తి స్థానం d అన్నా ఒక్కటే!

$l = 3$ అన్నా ఉప-శక్తి స్థానం f అన్నా ఒక్కటే!

$l = 4$ అన్నా ఉప-శక్తి స్థానం g అన్నా ఒక్కటే!

ఈ నమూనాని ఉపయోగించి ఉదజని అణువు నుండి వెలువడే ఉద్గారిత వర్ణమాల లోని ఎర్ర గీత చిట్లినట్లు ఎందుకు కనిపిస్తుందో వివరణ చెయ్యవచ్చు.

కానీ, సోమర్ఫెల్డ్ నమూనా జీమన్ ప్రభావం, స్టార్క్ ప్రభావం ఎందుకు కనిపిస్తున్నాయో వివరించి చెప్పలేకపోయింది. అంతే కాదు. బోర్ నమూనా లాగనే సోమర్ఫెల్డ్ నమూనా కూడా అణువుల చుట్టూ తిరిగే ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను యెడల మాత్రమే పని చేస్తుంది.

2 గుళిక సంఖ్యలతో ఎలక్ట్రాన్ స్థితిని వర్ణించడం

తరువాత, సోమర్ఫెల్డ్ చూపిన బాట వెంట వెళుతూ, జీమన్ ప్రభావాన్ని లెక్కలోకి తీసుకుంటూ అయస్కాంత గుళిక సంఖ్య (magnetic quantum number) m అనే కొత్త భావాన్ని జోడించారు. ఈ m అనేది కోణీయ భారవేగం దిశని (direction of angular momentum vector ని) గుళికీకరించగా వచ్చిన సంఖ్య. (ఇక్కడ ఇంత కంటే ఎక్కువ వివరణ చెయ్యడం కష్టం). ఈ m విలువ $l - 1$ నుండి $l + 1$ వరకు ఉంటుంది. ఈ m విలువ ఒక ఉప-కోశంలో ఎన్ని విగతులు ఉన్నాయో చెబుతుంది.

ఇదే ధోరణిలో ఎలక్ట్రాను "భ్రమణం" లక్షణాన్ని గుళికీకరించగా వచ్చిన భ్రమణ గుళిక సంఖ్య (spin quantum number) s విలువ +(½) కానీ – (½) కానీ ఉంటుంది. ఈ రెండు గుళిక సంఖ్యలు ఎప్పుడు, ఎలా ప్రవేశించాయో ఇప్పట్లో అర్థం కాకపోయినా పరవాలేదు కానీ, ఒక ఎలక్ట్రాను పరిస్థితిని పరిపూర్ణంగా వర్ణించాలంటే ఈ నాలుగు గుళిక సంఖ్యలు, (n, l, m, s), కావలసి వస్తుంది.

ఇక్కడ ఒక ఉపమానం చెబుతాను. "మీ ఇల్లు ఎక్కడ ఉంది?" అని అడిగితే "(గుంటూరులో, బ్రాడీ పేటలో, 6 వ నంబరు అడ్డు వీధి లో, 21 వ నంబరు ఇల్లు)" అని చెప్పినట్లే, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంది అంటే n విలువ, l విలువ, m విలువ, s విలువ చెబుతాం.

ఇప్పుడు ఒక ఎలక్ట్రాను స్థితి (state) ని వర్ణించడానికి ఈ మొదటి మూడు గుళిక సంఖ్యలు ఎలా ఉపయోగపడతాయో ఈ దిగువ పట్టికలో చూపెడుతున్నాను. చివరి నిరుసలో ఉన్న సంఖ్య కేవలం విగతులని లెక్కపెడుతున్నది. ఒకొక్క విగతిలో రెండు ఎలక్ట్రానులు పడతాయని చెప్పడానికి భ్రమణ గుళిక సంఖ్యని వాడతారు. ఈ భ్రమణ గుళిక సంఖ్య (spin quantum number) తో కలుపుకుని మొత్తం నాలుగు గుళిక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

n కోశం	l ఉప–కోశం	ఉప–కోశం పేరు	m	ఒక ఉప–కోశంలో ఉండే విగతులు	ఒక కోశంలో ఉండే విగతులు (మొత్తం)
1	0	1s	0	1	1
2	0	2s	0	1	1+3 = 4
	1	2p	–1, 0, +1	3	
3	0	3s	0	1	1 + 3+ 5 = 9
	1	3p	–1, 0, +1	3	
	2	3d	–2 ,–1, 0, 1, 2	5	

4	0	4s	0	1	1+ 3 + 5 + 7 = 16
	1	4p	–1, 0, +1	3	
	2	4d	–2 ,–1, 0, 1, 2	5	
	3	4f	–3, –2 ,–1, 0, 1, 2, 3	7	

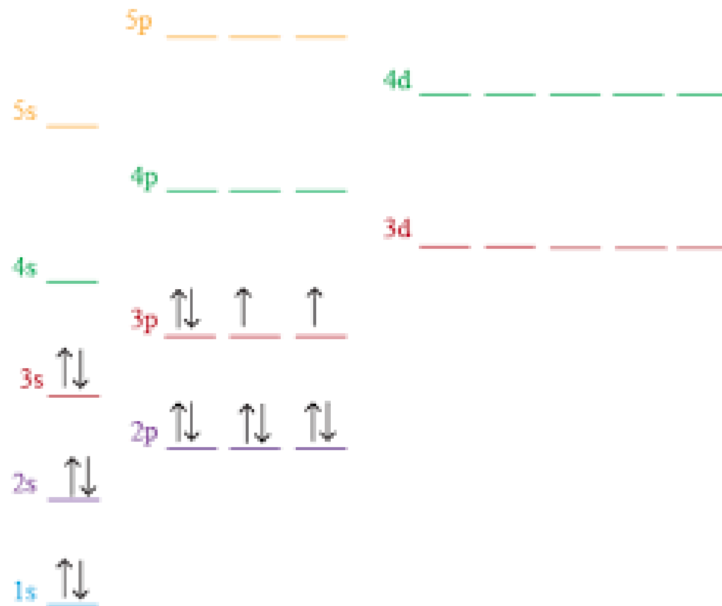
బొమ్మ 1. మొదటి మూడు గుళిక సంఖ్యలు

ఇప్పుడు ఈ సమాచారం అంతా శక్తి స్థానాల భాషలోకి మార్చితే ఎలా ఉంటుందో చూద్దాం. అట్టడుగున, $n = 1$ కనుక అది కనిష్ఠ శక్తి స్థానం $1s$ అవుతుంది. దీనిని ఒక "తిరకాసు" భవనంలో ఒకటవ అంతస్తులోని ఏకైక గది లా ఉహించుకుందాం. ఈ గది పేరు $1s$. ఈ గదిలో ఒక మంచం ఉంటుంది. దాని మీద రెండు ఎలక్ట్రానులు (ఒకటి ఎడ ముఖం తోటీ, రెండవది పెడ ముఖం తోటి) ఉండగలవు.

దీని పైన, $n = 2$ అంతస్తు వస్తుంది. ఈ రెండవ అంతస్తులో, మొదటి వసారాలో ఒకే ఒక గది, దాని పేరు $2s$. అందులో ఒక మంచం, ఆ మంచం మీద ఎడ, పెడ ముఖాలతో రెండు ఎలక్ట్రానులు

ఉండొచ్చు. రెండవ అంతస్తు లోని రెండవ వసారాలో మూడు గదులు, వాటి పేర్లు $2p(-1), 2p(0), 2p(+1)$ అనుకుందాం. ఒకొక్క గదిలో రెండేసి ఎలక్ట్రానులు.

దీని పైన, $n = 3$ అంతస్తు వస్తుంది. ఈ మూడవ అంతస్తులో, మొదటి వసారాలో ఉన్న ఒకే ఒక గది పేరు $3s$. రెండవ వసారాలో మూడు గదులు, వాటి పేర్లు $3p(-1), 3p(0), 3p(+1)$, మూడవ వసారాలో అయిదు గదులు, వాటి పేర్లు $3d(-2), 3d(-1), 3d(0), 3d(+1), 3d(+2)$ అవుతాయి. ఈ ఉపమానంలో ప్రతి గది ఒక విగతి (orbital) అవుతుంది. ప్రతి గదిలోనూ రెండు ఎలక్ట్రానులు పడతాయని అనుకున్నాము కనుక, ప్రతి విగతి (orbital) లోను ఒక ఎడ ముఖం (spin up), ఒక పెడ ముఖం (spin down) ఉన్న ఎలక్ట్రానులు పడతాయని మనం ఊహించుకోవచ్చు.



బొమ్మ 2. కోశాలు (శక్తి స్థానాలు) ఎలక్ట్రానులతో నిండే వయినం.

ఒక హెచ్చరిక! రకరకాల వాదప్రతివాదాలు, సిద్ధాంతాలు, సూత్రాలు, నమూనాలు చెలరేగుతున్నాయన్నమాటే కానీ ఆ రోజుల్లోనే కాదు, ఇప్పటికీ, ఏ ఒక్కరూ ఎలక్ట్రానుని కంటితో చూసిన పాపాన పోలేదు. వారు అనేదల్లా, "నమూనా ఇలా ఉంటే నమూనా చెప్పేది ప్రయోగ ఫలితంతో సరితూగుతోంది." నిజ పరిస్థితి ఎవ్వరికీ తెలియదు. అందుకనే ఆధునిక యుగంలో ప్రయోగ ఫలితానిదే పై చేయి అవుతోంది.

14. గతి, విగతి, కోశం, శక్తి స్థానం – వీటి మధ్య తేడాలు

ఇంతవరకు గతి (orbit), విగతి (orbital), శక్తి స్థానం (energy level), కోశం (shell) అనే మాటలు వాడుతూ వచ్చేము. స్థూలంగా ఈ మాటలు అన్నీ దరిదాపుగా ఒకే భావాన్ని చెబుతాయి. సూక్ష్మంగా ఈకలు పీకితే చిన్న చిన్న తేడాలు కనబడతాయి. ఒకే భావానికి ఇన్ని మాటలు ఉండడానికి కారణం ఏమిటంటే మొదట్లో ఈ భావాలు సమగ్రంగా మన అవగాహనలోకి రాలేదు. ఇప్పుడు అవగాహన పెరిగింది కానీ బంకనక్కిరికాయల్లా ఈ పాత మాటలు మనని పట్టుకు వేలాడుతున్నాయి. ఇప్పుడు పొమ్మంటే పోవు. పుస్తకాలు అన్నీ తిరగ రాయడం సాధ్యమా?

గుళిక వాదంలో తారసపడే సాంకేతిక పదం "గతి" ఇంగ్లీషులో "ఆర్బిట్" (orbit) తో సమానం. సౌర కుటుంబంలో గ్రహ గతులని "ఆర్బిట్" లు అంటారు. (వీటిని తెలుగులో కక్ష్యలు అని కూడా అంటారు.) ఇవి ఒకే తలంలో ఉండే గ్రహ సంచార రేఖలు. ఇదే విధంగా ఎలక్ట్రానులు కూడా ఒక కేంద్రకం చుట్టూ ఒక నియమితమైన తలంలో ప్రయాణం చేస్తున్నాయని మనం ఊహించుకుంటే అప్పుడు ఎలక్ట్రాను ప్రయాణించే మార్గాన్ని కూడా "గతి" అనో, "కక్ష్య" అనో పిలవచ్చు. (An orbit is a planar or two-dimensional circular pathway. An orbit follows Newton's laws of motion.) అనగా, గతి అనే దానిని ఊహించుకోవాలంటే ఒక తీగకి

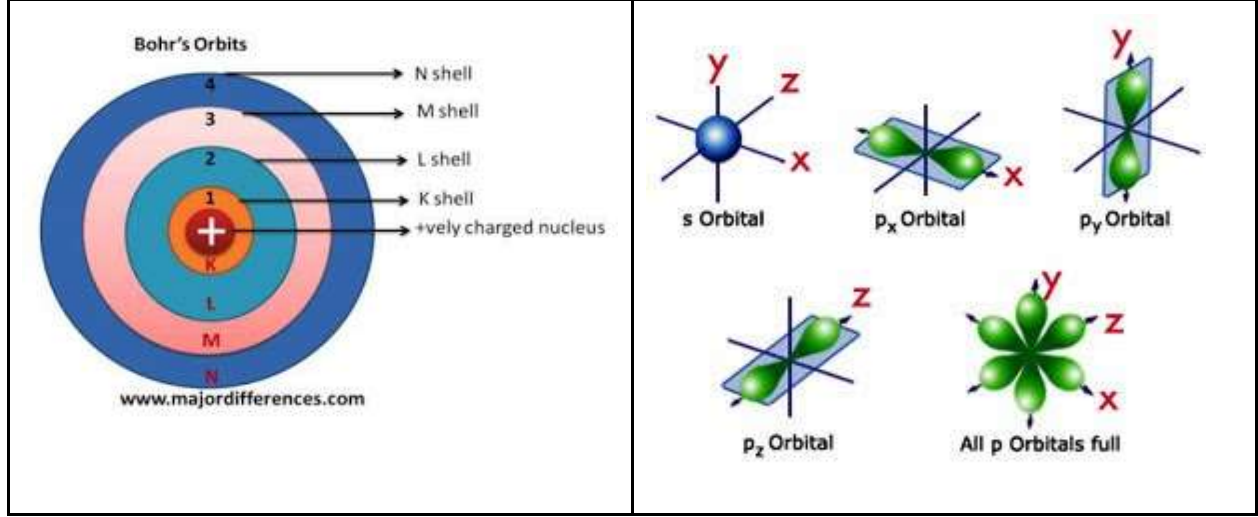
పూసని గుచ్చి, ఆ తీగని గుండ్రంగా అమర్చినప్పుడు తీగ "గతి" అవుతుంది, పూస ఎలక్ట్రాను అవుతుంది.

కానీ ఆధునిక గుళిక వాదం, ప్రత్యేకించి హైజన్బర్గ్ అనిర్దిష్ట సూత్రం (Uncertainity Principle), ప్రకారం ఎలక్ట్రాను ఫలానా మార్గం వెంబడి ప్రయాణిస్తున్నదని నిర్ధారించి చెప్పలేము. కనుక గుళిక వాదంలో "ఆర్బిట్" (గతి, కక్ష్య) అన్న మాటకి అర్థం లేదు. గుళిక వాదంలో ఎలక్ట్రాను ఆక్రమించిన ప్రదేశం విస్తృతం, త్రి-మితీయం (3-dimensional) కనుక ఇలా "వికసించిన" ప్రదేశాన్ని సూచించడానికి ఇంగ్లీషులో "ఆర్బిటల్" అని కొత్త పేరు సృష్టించేరు. "విస్తరించిన గతి" లేదా "వికసించిన గతి" కనుక దీనిని మనం తెలుగులో "విగతి" అందామా? దీనిని తెలుగులో కర్పరం అని కూడా అంటారట!

ఒక త్రి-మితీయ ప్రదేశంలో ఎలక్ట్రాను ఆక్రమించిన ప్రదేశాన్ని విగతి అన్నాం కదా. ఇది త్రి-మితీయ ప్రదేశంలో ఉంది కనుక ఒక ఎలక్ట్రాను ఆక్రమించిన ప్రదేశానికి పొడుగు, వెడల్పు, లోతు ఉంటాయి. అనగా ఎలక్ట్రాను ఆక్రమించిన ప్రదేశం మేఘం రూపంలో ఉంటుందని ఊహించుకోవచ్చు. ఈ మేఘం కూడా – దాంట్లో నిక్షిప్తమైన శక్తిని బట్టి – రకరకాల బుడగలు రూపంలో ఉంటుందని కూడా మనం ఊహించుకోవచ్చు. ఈ బుడగ రూపాలనే ఇంగ్లీషులో "ఆర్బిటల్స్" అంటారు, తెలుగులో "విగతులు" అంటున్నాం. అనగా, విగతి అనేదానిని ఊహించుకోవాలంటే రబ్బరు బుడగ ఆకారం ఒక విగతి అవుతుంది, రెండు బుడగలని ఊది, వాటి మూతుల దగ్గర ముడి వేస్తే వచ్చే ఆకారం మరొక

విగతి అవుతుంది. మూడు బుడగలని ఊది, వాటి మూతుల దగ్గర ముడి వేస్తే వచ్చే ఆకారం మరొక విగతి అవుతుంది. (దిగువ బొమ్మ చూడండి.)

గతి (orbit)	విగతి (orbital)
1. కేంద్రకం చుట్టూ ఒక నిర్దిష్టమైన గుండ్రటి పరిధి. ఈ పరిధి వెంబడి గానుగెద్దులా ఎలక్ట్రాను ప్రయాణిస్తున్నదని అనుకుంటాం.	1. కేంద్రకం చుట్టూ అనిర్దిష్టంగా ఆవరించి ఉన్న మేఘం లాంటి ప్రదేశం. ఈ త్రి–మితీయ ప్రదేశంలో ఎలక్ట్రాను ఎక్కడైనా ఉండవచ్చు.
2. ఎలక్ట్రాను ప్రయాణించే పరిధి ఒక చదునైన ప్రదేశంలో ఉన్నట్లు ఉహించుకుంటాం.	2. ఎలక్ట్రాను ఆవరించే ప్రదేశం ఒక త్రి–మితీయ ఆవరణలో ఉన్నట్లు ఉహించుకుంటాం.
3. ఒకొక్క గతిలో $2n^2$ ఎలక్ట్రానులు పడతాయి. ఇక్కడ $n = 1, 2, 3, ..$ అనేవి గతిని నిర్దేశించే సంఖ్యలు.	3. ఒకొక్క విగతిలో రెండు కంటే ఎక్కువ ఎలక్ట్రానులు పట్టవు.
4. గతులు దిశా శీలాన్ని ప్రదర్శించలేవు కనుక బణువుల ఆకారాలకి కారణాలు చెప్పలేవు.	4. విగతులు దిశా శీలాన్ని ప్రదర్శించగలవు కనుక బణువుల ఆకారాలకి కారణాలు చెప్పగలవు.
5. నిర్దిష్టమైన గతులు అనే భావం హైజెన్బర్గ్ అనిశ్చిత సూత్రానికి విరుద్ధం.	5. విగతులు అనే భావం హైజెన్బర్గ్ అనిశ్చిత సూత్రానికి విరుద్ధం కాదు.



బొమ్మ 1. గతి, విగతి అనే భావాల మధ్య పోలికలు, తేడాలు

ఇప్పుడు కోశం (shell), శక్తి స్థానం (energy level), విగతి (orbital) అనే భావాలకి నిర్దిష్టమైన నిర్వచనాలు ఇద్దాం.

1. ప్రాథమిక గుళిక సంఖ్య n సమానమైన ఎలక్ట్రానులన్నీ ఒకే కోశానికి చెందుతాయి.
2. ఒక కోశంలో (అనగా, ఒకే n విలువ ఉన్న సందర్భాలలో) దిగంశ గుళిక సంఖ్యలు (అనగా, l విలువలు) సమానమైన సందర్భాలలో ఎలక్ట్రానులన్నీ ఒకే ఉప-కోశానికి చెందుతాయి.

3. ఒక ఉప–కోశంలో (అనగా, ఒకే n విలువ, ఒకే l విలువ, ఒకే m విలువ) ఉన్న ఎలక్ట్రానులన్ని ఒకే విగతికి చెందుతాయి. అనగా, ఒకే విగతిలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులన్ని ఒకే శక్తితో, ఒకే ఆకారంలో, ఒకే దిశాశీలంతో ఉంటాయి.

4. బోర్ నమూనాలో కనిపించే గతులు (orbits), ఇక్కడి కోశాలు (shells) – రెండూ ఒకే భావాన్ని చెబుతాయి. ఈ కోశాలని లెక్కపెట్టడానికి $n = 1, 2, 3, ...$ అనే గుళిక సంఖ్యలని వాడతారు.

5. కోశాలలో ఒకటో, రెండో, మూడో,... , ఉప–కోశాలు ఉంటాయి. వీటికి s, p, d, f అనే పేర్లు పెట్టేరు. ఉదాహరణకి మొదటి $(n = 1)$ కోశంలో ఒకే ఒక ఉప–కోశం s ఉంటుంది. రెండవ $(n = 2)$ కోశంలో రెండు ఉప–కోశాలు s, p ఉంటాయి. మూడవ $(n = 3)$ కోశంలో మూడు ఉప–కోశాలు s, p, d ఉంటాయి. అటుపైన అన్ని కోశాలలో నాలుగేసి ఉప–కోశాలు s, p, d, f లు ఉంటాయి.

1. విగతులు (orbitals)

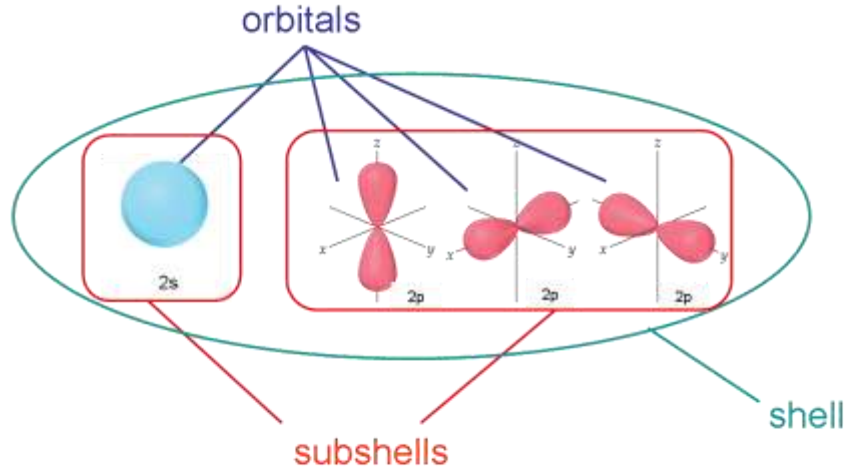
విగతి అంటే కేంద్రకం చుట్టూ ఉన్న ప్రదేశంలో ఎలక్ట్రాను కనబడే సంభావ్యతని తెలియజేసేది. ప్రతి ఉప–కోశంలోను ఒకటో, అంతకంటే ఎక్కువో విగతులు పడతాయి. నిర్దిష్టంగా చెప్పాలంటే –

ఉప–కోశం s లో 1 విగతి పడుతుంది లేదా 2 ఎలక్ట్రానులు పడతాయి.

ఉప-కోశం p లో 3 విగతులు పడతాయి లేదా 6 ఎలక్ట్రానులు పడతాయి.

ఉప-కోశం d లో 5 విగతులు పడతాయి లేదా 10 ఎలక్ట్రానులు పడతాయి.

ఉప-కోశం f లో 7 విగతులు పడతాయి లేదా 14 ఎలక్ట్రానులు పడతాయి.



బొమ్మ 2. కోశం (shell), ఉప-కోశం, విగతి (orbital) అంటే ఏమిటో వివరించే బొమ్మ.

2. ఒక ఉపమానం

విగతులని ఉహించుకుందుకి ఒక "తిరకాసు భవనం" ఉపమానం చెబుతాను. ఈ తిరకాసు భవనం మొదటి అంతస్థులో ఒకే ఒక గది ఉంటుంది. ఈ గది మీద 1s అని రాసి ఉంటుంది. ఆ గదిలో ఒక మంచం. ఆ మంచం మీద రెండు ఎలక్ట్రానులు పడతాయి – ఒకటి ఊర్ధ్వ ముఖం తోటి ($1s^1$), ఒకటి అధో ముఖం తోటి ($1s^2$)! ఈ గది అట్టడుగున ఉంటుంది కనుక ఇది చాల తక్కువ శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది.

“తిరకాసు భవనం” రెండవ అంతస్థులో రెండు వసారాలు ఉంటాయి. మొదటి వసారాలో ఒక గది, ఆ గది మీద 2s అని రాసి ఉంటుంది. రెండవ వసారాలో మూడు గదులు ఉంటాయి, వాటి మీద $2p_x, 2p_y, 2p_z$ అని రాసి ఉంటాయి. ఒకొొక్క గదిలో ఒకొొక్క మంచం, ఒకొొక్క మంచం మీద రెండేసి ఎలక్ట్రానులు – ఒకటి ఊర్ధ్వ ముఖం తోటి, ఒకటి అధో ముఖం తోటి ఉంటాయి. ఈ రెండవ అంతస్తు మొదటి అంతస్తు కంటే ఎక్కువ శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది.

“తిరకాసు భవనం” మూడవ అంతస్థులో మూడు వసారాలు ఉంటాయి. మొదటి వసారాలో ఒక గది, ఆ గది మీద $3s$ అని రాసి ఉంటుంది. రెండవ వసారాలో మూడు గదులు ఉంటాయి, వాటి మీద $3p_x, 3p_y, 3p_z$ అని రాసి ఉంటాయి. మూడవ వసారాలో 5 గదులు ఉంటాయి, వాటి మీద $3d1, 3d2, 3d3, 3d4, 3d5$ అని రాసి ఉంటాయి. ఒకొొక్క గదిలో ఒకొొక్క మంచం, ఒకొొక్క మంచం మీద రెండేసి ఎలక్ట్రానులు – ఒకటి ఊర్ధ్వ ముఖం తోటి, ఒకటి అధో ముఖం తోటి ఉంటాయి. ఈ మూడవ అంతస్తు రెండవ అంతస్తు కంటే ఎక్కువ శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది.

ఎలక్ట్రానులని గదులలో నింపినప్పుడు అడుగునుండి పైకి ఒక పద్ధతిలో నింపుకుంటూ పోవాలి.

15. ఆవర్తన పట్టిక, ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాలు

బోర్, సోమర్ఫెల్డ్ నమూనాలు మొదట్లో పని చేసినట్లు అనిపించినా క్రమేణా వాటిలో చాల లోపాలు కనిపించేయి. కానీ ఈ నమూనాలు ప్రవేశపెట్టిన ఊహలు ఇప్పటికి విద్యార్థులు అధ్యయనం చేస్తున్నారంటే వాటిల్లో ఏదో విలువ ఉండి ఉండాలి.

బోర్ నమూనాలో అణువు కేంద్రకంలో (అనగా, నడిబొడ్డులో) నూట్రానులు, ప్రోటానులు అనే పరమాణువులు ఉంటాయి. ఈ కేంద్రకం చుట్టూ ఎలక్ట్రానులు ప్రదక్షిణాలు చేస్తూ ఉంటాయి. సూర్యుడి చుట్టూ గ్రహాలు వివిధ కక్ష్యలలో తిరుగుతున్నట్లే కేంద్రకం చుట్టూ వివిధ గతులలో, వివిధ దూరాలలో, ఎలక్ట్రానులు తిరుగుతూ ఉంటాయి. ఎలక్ట్రానులు సంచరించే ఈ మార్గాలని "గతులు" (orbits) అని కానీ, కోశాలు (shells) అని కానీ అంటారు. కేంద్రకానికి అతి దగ్గరలోఉన్న కోశంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు కనిష్ఠ శక్తిని కలిగి, కేంద్రకానికి దూరం అవుతున్నకొద్దీ వాటి శక్తి పెరుగుతూ ఉంటుంది. ఇక్కడ కోశం అన్నా "శక్తి స్థానం" అన్నా ఒక్కటే. "కోశం" అన్నప్పుడు కేంద్రకం నుండి ఎంత దూరంలో ఉన్నామో చెప్పడానికి "దూరం కొలమానం"తో కొలుస్తున్నాం, "శక్తి స్థానం" అన్నప్పుడు "శక్తి కొలమానం"తో కొలుస్తున్నాం.

సంప్రదాయానుసారంగా కేంద్రకం చుట్టు ఉన్న కోశాలకి $n = 1, n = 2, ...$ అనుకుంటూ పేర్లు పెట్టేరు. ఉదాహరణకి, కేంద్రకానికి అతి సమీపంలో ఉన్న కోశాన్ని $1n$ లేదా n_1 అంటారు. అడుగున

ఉన్న కోశం నుండి పైన ఉన్న కోశం లోకి ఎలక్ట్రాను గంతు వేయాలంటే మనం బయటనుండి శక్తిని సరఫరా చెయ్యాలి. ఎలా? తేజాణువు (ఫోటాను) ద్వారా. ఎంత శక్తి? ఈ రెండు శక్తి స్థానాల (కోశాల) మధ్య ఎంత వ్యత్యాసం ఉందో, అంత! అదే విధంగా పైనున్న కోశం నుండి దిగువన ఉన్న కోశం లోకి ఎలక్ట్రాను జారి పడినప్పుడు అదే వ్యత్యాసం ప్రాప్తికి శక్తి విడుదల అవుతుంది – సర్వసాధారణంగా వేడి రూపంలో.

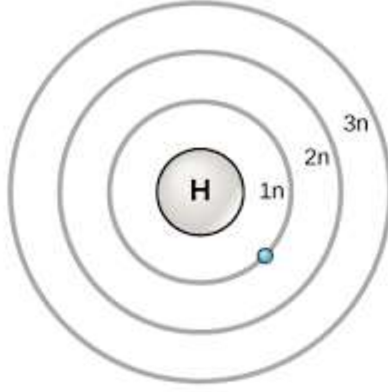
నీరు పల్లమెరుగు అన్నట్లు అణువులు ఎల్లప్పుడూ, వీలయినప్పుడల్లా, కనిష్ట శక్తి స్థానంలో ఉండడానికి ఇష్టపడతాయి. అనగా, కేంద్రానికి దగ్గరగా ఉన్న కోశంలో ఉండడానికి ఇష్టపడతాయి. అందుకని ఈ కోశాలని ఎలక్ట్రానులతో నింపినప్పుడు ముందు కేంద్రకానికి దగ్గరగా ఉన్న కోశాలని నింపాలి. కానీ కేంద్రానికి దగ్గరలో ఉన్న $1n$ కోశంలో 2 ఎలక్ట్రానులు పడతాయి. తరువాత వచ్చే $2n$ కోశంలో 8, అటు తరువాత వచ్చే $3n$ కోశంలో 18 వరకు పడతాయి.

ఒక అణువు యొక్క బట్టబయటి కోశంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు ఆ అణువు యొక్క రసాయన లక్షణాలని – అనగా, చైతన్యాన్ని, ఇతర అణువులతో సంయోగం చెందడానికి ఇష్టతని చూపడాన్నీ – నిర్ధారిస్తాయి. ఈ బట్టబయటి కోశంని బాలపు కోశం (valence shell) అంటారు. అప్పుడు అందులో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు బాలపు ఎలక్ట్రానులు (valence electrons) అవుతాయి. ఈ బాలపు కోశం నిండుగా ఉన్నప్పుడు ఆ మూలకం చైతన్యం తక్కువగా ఉండి, స్థిర నిశ్చలతతో ఉంటుంది. జీవకోటిలో కనిపించే మూలకాలలో స్థిరత్వం ఉండాలి కనుక వాటి బట్టబయటి కోశాలు ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులతో "నిండుగా" ఉండాలి. దీనినే అష్టాంశ నియమం (octet rule) అంటారు.

ఇప్పుడు కొన్ని మూలకాల అణువులలో ఎలక్ట్రానుల అమరిక ఎలా ఉంటుందో చూద్దాం.

ఉదజని (Hydrogen): దీని అణు సంఖ్య = 1. దీని కుటుంబం = 1. దీని అవర్తు = 1. కేంద్రకంలో ధనావేశంతో ఒక ప్రోటాను, దాని చుట్టూ ఋణావేశంతో ఒక ఎలక్ట్రాను ఉంటాయి. ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను ఉంది కనుక అది అట్టడున ఉన్న శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది. అనగా $n = 1$ శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది. ఈ శక్తి స్థానంలో s అనే పేరుగల ఉప-కోశం (sub-shell) ఒకటి ఉంటుందని ఊహించుకోవాలి. (దీనినే K కోశం అని కూడా అంటారు.) ఈ కోశంలో రెండు ఎలక్ట్రానులు వరకు పడతాయి, కానీ ఇక్కడ ఉదజనిలో ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను ఉంది. కనుక ఆ ఒక్కటి ఈ కోశంలో పడుతుంది. ఈ స్థితిని $1s^1$ అంటారు; మొదట వచ్చిన 1 కోశం ని సూచిస్తుంది, తరువాత వచ్చిన s ఉప-కోశాన్ని సూచిస్తుంది, తరువాత వచ్చిన 1 ఆ ఉప-కోశంలో ఎన్ని ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయో చెబుతుంది. ఈ $1s^1$ ఉప-కోశంలో ఉన్న ఎలక్ట్రాన్ మేఘం ఏ ఆకారంలో ఉంటుంది? గుండ్రంగా, బంతి ఆకారంలో ఉంటుంది. ఈ ఆకారాన్ని విగతి (orbital) అంటారు.

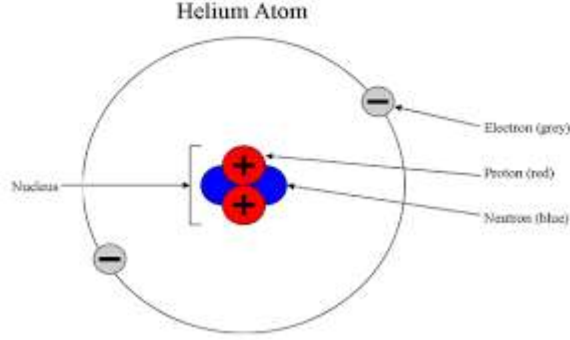
బట్టబయటి కోశం నిండుగా లేదు కనుక ఈ అణువుకి స్థిరత్వం తక్కువ. స్థిరత్వం పొందడానికి తన బాలపు ఎలక్ట్రానుని మరొక అణువుతో ఉమ్మడిగా పంచుకుందికి ఇష్టపడుతుంది. ఈ ఉమ్మడి హక్కుని మరొక ఉదజని అణువుతో పంచుకుంటే మనకి ఉదజని బణువు (hydrogen molecule) వస్తుంది. ఆ ఉదజని బణువుకి స్థిరత్వం ఎక్కువ.



బొమ్మ 1. ఉదజని అణువులో ఉన్న రెండు ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం

రవిజని (Helium): దీని అణు సంఖ్య = 2. దీని అవర్తు = 1. దీని కుటుంబం = 18 అని బొమ్మలో ఉంది కానీ, దీని కుటుంబం = 2 అని అనుకోవచ్చు. దీని కేంద్రకంలో ధనావేశంతో రెండు ప్రోటానులు, దాని చుట్టూ ఋణావేశంతో రెండు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. (నూట్రానులు గురించి చర్చ అనవసరం.) ఈ రెండు ఎలక్ట్రానులు అట్టడున ఉన్న శక్తి స్థానంలో ఇమడగలవు. అనగా, ఈ రెండు ఎలక్ట్రానులు $n = 1$ శక్తి స్థానంలో ఉండగలవు. ఈ శక్తి స్థానంలో s అనే పేరుగల ఉప–కోశంలో రెండు ఎలక్ట్రానులు – ఒకటి ఊర్ధ్వ భ్రమణంతో, మరొకటి అధో భ్రమణంతో – ఇమడగలవు కనుక ఈ ఎలక్ట్రాను విన్యాసాన్ని $1s^2$ అని అంటారు.

ఆవర్తన పట్టికలో మొదటి అరుస (row) లో ఉన్న మూలకాలలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు $n = 1$ కోశాన్ని నింపుతాయి. అనగా, ఉదజని, రవిజని $n = 1$ కోశాన్ని నింపుతాయి. ఇదే సమాచారాన్ని ఉదజని విన్యాసం $1s^1$, రవిజని విన్యాసం $1s^2$ అని కూడా చెబుతున్నాం.

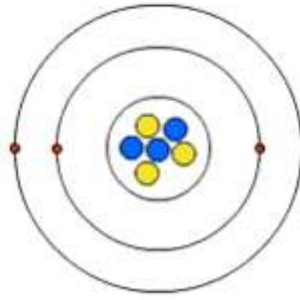


బొమ్మ 2. రవిజని అణువులో ఉన్న రెండు ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం

శిలాజని (Lithium): దీని అణు సంఖ్య = 3. దీని అవర్తు = 2. దీని కుటుంబం = 1. దీని కేంద్రకంలో ధనావేశంతో మూడు ప్రోటానులు, దాని చుట్టూ ఋణావేశంతో మూడు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. ఈ మూడు ఎలక్ట్రానులు అట్టడున ఉన్న శక్తి స్థానంలో ఇమడలేవు; రెండే ఇమడగలవు. అనగా, ఈ రెండు ఎలక్ట్రానులు $n = 1$ శక్తి స్థానంలో ఇమిడిన తరువాత మూడవ ఎలక్ట్రాను $n = 2$ శక్తి స్థానంలోకి వెళుతుంది. ఈ విన్యాసాన్ని సూచించడానికి $1s^2 2s^1$ అని రాస్తారు. ఇక్కడ $n = 2$ శక్తి స్థానంలోకి వెళ్లిన ఎలక్ట్రాను s ఉప-కోశం లోకి ఊర్ధ్వ భ్రమణం (spin up)తో వెళ్లింది అని భాష్యం చెప్పుకోవాలి.

ఆవర్తన పట్టికలో ఇది రెండవ అరుస (row) లో ఉన్నది కాబట్టి దీనిలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు – అనగా, $n = 1$ కోశాన్ని నింపగా మిగిలినవి – $n = 2$ కోశాన్ని నింపడం మొదలు పెడతాయి.

కనుక శిలాజని విన్యాసం $1s^2 2s^1$ అవుతుంది. ఈ విన్యాసం ఆకారం ఎలా ఉంటుంది? $1s^2$ ఒక బంతి ఆకారంలో ఉంటే, దాని చుట్టూ మరొక బంతి ఆకారంలో $2s^1$ ఉంటుంది. అనగా, s ఉప–కోశం ఆకారం బంతిలా ఉంటుంది. ఇక్కడ రెండు s ఉపకోశాలు ఉన్నాయి కనుక ఒక బంతిలో మరొక బంతి ఆకారం ఊహించుకోవాలి.



బొమ్మ 3. లిథియం అణువులో ఉన్న మూడు ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం

ఇదే బాణీలో నాలుగవ మూలకం బెరిలియం లోని విన్యాసం 1s2 2s2 అవుతుంది. ఇంతవరకు ఆవర్తన పట్టికలోని మొదటి రెండు నిరుసలలోని మూలకాలు (అనగా, H, He, Li, Be) s ఉపకోశాన్నే నింపేయన్నది గమనించండి.

అయిదవ మూలకం బోరాన్ (B) లో విన్యాసం $1s^2 2s^2 2p^1$ అవుతుంది. ఈ విన్యాసాలలో $1s^2, 2s^2$ లు గోళాకారాలలో ఉంటాయి; $1s^2$ చిన్న గోళంలా ఉంటే, దాని చుట్టూ $2s^2$ మరి కొంచెం పెద్ద గోళంలా ఉంటుంది. ఈ రెండు ఏక–కేంద్ర గోళాలకి బయట $2p^1$ విన్యాసం ఉంటుంది. దీని

ఆకారం రెండు బుడగలని మూతి దగ్గర బిగించి కట్టినట్లు ఉంటుంది. ఈ రెండు-బుడగల ఆకారాన్ని x-అక్షం మీద కానీ, y-అక్షం మీద కానీ, z-అక్షం మీద కానీ ఉన్నట్లు ఊహించుకోవచ్చు కనుక వీటికి మూడు "పడకలు" కావాలి. వీటిని p_x, p_y, p_z అని పిలుస్తారు. కానీ బోరాన్ లో $2p$ కోశంలో పెట్టడానికి ఒక్కటే ఎలక్ట్రాను మిగిలింది కనుక ఆ ఒక్క దానిని, ఊర్ధ్వ భ్రమణంతో పై మూడు పడకలలో ఒక పడక మీద పెట్టేం.

ఈ విన్యాసాలు అన్నీ ఈ దిగువ బొమ్మలో చూపించేను.

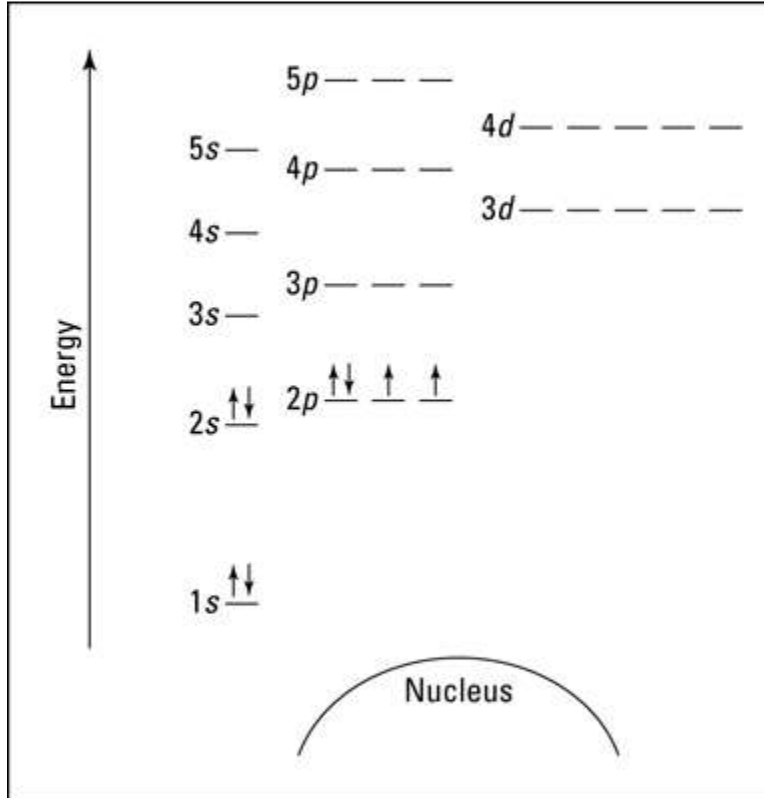
Example	electron notation	orbital notation
hydrogen	$1s^1$	↑
helium	$1s^2$	↑↓
lithium	$1s^2 2s^1$	↑↓ ↑ _ _ _
beryllium	$1s^2 2s^2$	↑↓ ↑↓ _ _ _
boron	$1s^2 2s^2 2p^1$	↑↓ ↑↓ ↑ _ _

బొమ్మ 4. ఉదజని లగాయతు బోరాన్ వరకు ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాలు

ఆమ్లజని (Oxygen): ఇప్పుడు ఎనిమిదవ మూలకం ఆమ్లజని అణువులో ఉన్న ఎలక్ట్రాను విన్యాసాన్ని



అని ఒకరు చెప్పేరనుకుందాం. దీని అర్థం ఏమిటంటే $1s$ లో 2 ఎలక్ట్రానులు, $2s$ లో 2 ఎలక్ట్రానులు, $2p$ లో 4 ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయని. ఈ విన్యాసంలో వాడిన శిరిక (superscript) ల మొత్తం $2 + 2 + 4 = 8 =$ ఆమ్లజని అణు సంఖ్యతో సమానం. ఈ విన్యాసాల అర్థం ఈ దిగువ బొమ్మ చూస్తే తెలుస్తుంది.



బొమ్మ 5. ఆమ్లజని అణువులో కేంద్రకం నుండి దూరం వెళుతున్న కొద్దీ ఏయే కోశాలలో ఎన్నెన్ని ఎలక్ట్రానులు పడతాయో చూపించే బొమ్మ

ఈ బొమ్మలో $1s, 2s$ ఉప-కోశాలలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుల పైకి తిరిగి ఒక బాణం గుర్తు, కిందికి తిరిగి ఒక బాణం గుర్తు ఉన్నాయి. ఇవి "ఒక ఎలక్ట్రాను భ్రమణం పైకి తిరిగి ఉంది, ఒక ఎలక్ట్రాను భ్రమణం కిందికి తిరిగి ఉంది" అని చెబుతున్నాయి. ఈ తల "భ్రమణం" ని ఇంగ్లీషులో స్పిన్ (spin) అంటారు. ఒకే ఉప-కోశంలో ఒకే రకం "భ్రమణం" ఉన్న ఎలక్ట్రాను ఒకటి కంటే ఎక్కువ పట్టవు.

హరితం (Chlorine): ఈ అణువులో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం ఎలా ఉంటుంది? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం కావాలంటే హరితంలో ఎన్ని ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయో తెలియాలి. హరితం అణు సంఖ్య 17 కనుక హరితంలో 17 ప్రోటానులు ఉన్నాయి. కనుక హరితంలో 17 ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయి.

హరితం ఆవర్తన పట్టికలో, మూడవ అరుసలో ఉంది కనుక దీని n విలువ 3. అనగా 3 వ కోశం వరకు ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి. పదమూడు నుండి పదిహేడు నిరుసలలో ఉన్న మూలకాలు అన్నీ p ఉప-కోశానికి చెందుతాయి. పైపెచ్చు, 13-17 నిరుసలలో ఇది 5 వ నిరుస కనుక ఈ p ఉప-కోశంలో 5 ఎలక్ట్రానులు ఉండాలి. కనుక ఈ మూలకపు ఎలక్ట్రాను విన్యాసంలో చివర $3p^5$ రావాలి. ఇక్కడ నుండి వెనక్కి నరుక్కు వెళ్లడం తేలిక. మూడవ కోశంలో p ఉప-కోశం వరకు రావాలంటే $3s^2$ నిండాలి, అంతకు ముందు $2s^2$ నిండాలి,

అంతకు ముందు $1s^2$ నిండాలి. కనుక హరితం అణువులో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం ఈ దిగువ చూపిన విధంగా ఉండాలి.

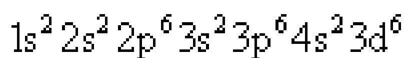
Chlorine (Cl): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

ఈ విన్యాసం, 1 వ ఉప–కోశం 2 ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోయిందని $1s^2$ చెబుతోంది. అదే బాణీలో 2 వ ఉప–కోశం $2+6=8$ ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోయిందని $2s^2 2p^6$ చెబుతోంది. పోతే 3 వ ఉప–కోశంలో $2+3=5$ ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయని $3s^2 3p^5$ చెబుతోంది. అనగా, ఈ p ఉప–కోశం పూర్తిగా నిండలేదు; ఆరవ ఎలాక్ట్రానుకి చోటు ఉంది. ఆ ఆరవ ఎలక్ట్రానుని ఎప్పుడు తనలోకి తీసుకుందామా అని తహతహలాడుతూ ఉంటుంది. అందుకనే హరితం చాల చలాకీ అయిన మూలకం.

ఇనుము (Iron): ఈ అణువులో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం ఎలా ఉంటుంది? ఆవర్తన పట్టికలో ఇనుము 4 వ అవర్తు (అరుస) లోను, 6 వ కుటుంబంలోనూ ఉంది. దీని అణుసంఖ్య 26. కనుక దీని అణువులో 26 ప్రోటానులు, 26 ఎలక్ట్రానులు ఉంటాయి (నూట్రానుల లెక్క ఇక్కడ అనవసరం.) రసాయన లక్షణాలని నిర్దేశించేది బాహ్య కోశాలలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులే కానీ, లోపల కోశాలలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు కావు. కనుక మొదటి మూడు అవర్తులు నిండిన తరువాత కథ చూస్తే చాలు. మూడవ అవర్తు చివర ఉన్నది ఆర్గాన్ (Argon) దగ్గరకి వచ్చేసరికి ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసం

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ కనుక, ఇప్పటికి $2+2+6+2+6=18$ ఖర్చు అయిపోయాయి. మిగిలిన పది ఎలక్ట్రానులని నింపాలి. క్రమం తప్పకుండా నింపాలనుకుంటే $3p$ తరువాత $3d$ రావాలి. కానీ $4s$ కోశం యొక్క శక్తి విలువ $3d$ కోశం కంటే తక్కువ. కనుక క్రమం తప్పినా, $3p$ తరువాత $4s$ వచ్చి, అటు తరువాత $3d$ వస్తుంది. ఈ దిగువ చూపిన విన్యాసం, పటాలు చూడండి.

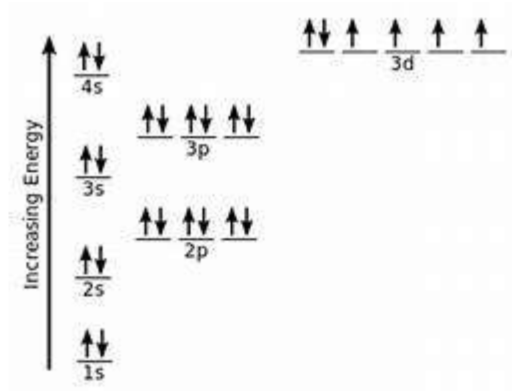
Iron (Fe):


$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$

ఇక్కడ గమనించవలసిన విచిత్రం ఒకటుంది. ఒకటవ కోశం $1s$ పూర్తిగా 2 ఎలక్ట్రానులతో నిండిన తరువాతనే రెండవ కోశం $2+6=8$ ఎలక్ట్రానులతో నిండింది. మూడవ కోశంలోని ఉప–కోశాలు $3s^2 3p^6$ లు నిండిన తరువాత ఉప–కోశం $3d$ రావలసి ఉంది; కానీ రాలేదు. మూడవ కోశం ఇంకా ఖాళీగా ఉండగానే నాలుగవ కోశంలో మొదటి ఉప–కోశం $4s$ రెండు ఎలక్ట్రానులతో నిండిన తరువాత, వెనక్కి వెళ్లి $3d$ ఉప–కోశంలో 6 ఎలక్ట్రానులు పడ్డాయి! ఇక్కడ వరస తప్పింది కనుక కొత్త నియమాలు అమలులోకి వచ్చేయి. ఈ నియమాలేమిటో ప్రస్తుతానికి అనవసరం.



బొమ్మ 6. ఇనుము అణువులో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం



బొమ్మ 7. ఇనుము అణువులో ఎలక్ట్రానులు ఆక్రమించిన శక్తి స్థానాలు. ఇక్కడ $3d$ శక్తి స్థానంలో, చివరి నాలుగు విగతులలో ఉన్న ఎలక్ట్రాను భ్రమణాలని గుర్తించండి.

ఇప్పుడు ఆవర్తన పట్టికలో ఉన్న మరికొన్ని మూలకాలలోని ఎలక్ట్రానుల విన్యాసాలని చూద్దాం. ఈ దిగువ బొమ్మలో మొదటి అరుస, చివరి నిరుసలో ఉన్న రవిజని (Helium) ని చూడండి. దీని

కేంద్రకం చుట్టు ఒకే ఒక $1n$ కోశం ఉంది. ఈ కోశం రెండు ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోయింది. ఇదే విధంగా హీలియం (He) దిగువన ఉన్న నియాను (Ne) లో ఉన్న $1n$ కోశం రెండు ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోగా, $2n$ కోశం ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులతో నిండిపోయింది. ఈ విన్యాసాలవల్ల హీలియం, నియాను స్థిరత్వం చెందిన (జడ) వాయువులు అయేయి. కానీ ఇదే నిరుసలో, నియాను దిగువన ఉన్న ఆర్గాను (Ar)ని చూడండి. దీని $1n$ కోశం, $2n$ కోశం ఎలక్ట్రానులతో నిండి పోగా, $3n$ కోశం నిండలేదు; దీనిలో ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులే ఉన్నాయి. ఈ బాలపు కోశంలో ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులు ఉండడం వల్ల మనం అనుకున్న అష్టాంశ నియమం ప్రకారం ఇది స్థిరత్వం పొందిన అణువు అయింది. ఈ పరిస్థితితో మూడవ అరుసలో ఉన్న క్లోరీన్ లోని, సోడియం లోని విన్యాసాలు పోల్చి చూడండి. క్లోరీన్ (Cl) యొక్క బట్టబయటి కోశంలో ఏడు ఎలక్ట్రానులు, సోడియం బట్టబయటి కోశంలో ఒకే ఒక ఎలక్ట్రాను ఉండి అష్టాంశ నియమానికి విరుద్ధంగా ఉండడం వల్ల ఇవి ఎంతో చలాకీ అయిన మూలకాలు అయేయి.

బొమ్మ 8. ఆవర్తన పట్టికలో కొన్ని మూలకాల ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాలు

మెదడుకి మేత

1. Ca^{2-}, Mg^{4+} అయానులలోని ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాలు (బొమ్మ 5, బొమ్మ 7 పద్ధతిలో) బొమ్మ గీసి చూపించాలి.
2. అష్టాంశ నిశ్చలత (octet stability) అంటే ఏమిటి?

జవాబులు వేరే అధ్యాయంలో చివర ఉన్నాయి.

16. రేణువులా? తరంగాలా?

బోర్-సోమర్ఫెల్డ్ నమూనాలతో పని జరుగుతోంది కానీ వాటిల్లో చాల లొసుగులు ఉండడంతో అవి సంతృప్తికరంగా లేవు. ఈ పరిస్థితులలో గుళిక వాదానికి కొత్త మెరుపులు దిద్దినవారిలో ఆద్యులు ముగ్గురు: ఫ్రాంసులో విక్టర్ డిబ్రోలి, జెర్మనీలో వెర్నర్ హైజెన్బర్గ్ , ఆస్ట్రియాలో ఎర్విన్ ష్రోడింగర్. వీరి వాదాలు పటిష్టమైనవే అని ప్రయోగికంగా ఋజువులు చూపించినది ఇద్దరు: అమెరికాలో క్లింటన్ డేవిస్సన్, లెస్టర్ గెర్మర్.

మన చుట్టూ ఉన్న విశ్వంలో మన స్థూల దృష్టికి అగుపించే ప్రపంచాన్ని న్యూటన్ ప్రవచించిన సూత్రాలతో అర్థం చేసుకోవచ్చు. ఉదాహరణకి కారులో పెట్రోలు అయిపోయిందని అనుకుందాం. ఆగిపోయిన కారుని తొయ్యడానికి ఎంత బలం ఉపయోగించాలి అన్న ప్రశ్న ఉదయించినప్పుడు తడబాటు లేకుండా

$$F = ma$$

అనే న్యూటన్ సూత్రాన్ని ఉపయోగిస్తాం.

కానీ అణు ప్రపంచంలో నూటన్ సూత్రాలు పని చెయ్యవు. స్థూల ప్రపంచం ఖణిగా, స్ఫుటంగా అగుపిస్తుంది కాని సూక్ష్మ ప్రపంచం అంతా మసకే, స్పష్టత లేదు; నిశ్చయంగా 'ఇది' అని ఇదమిత్థంగా చెప్పలేము. కనుక కొత్త రకం ఆలోచనా పద్ధతి కావలసి వచ్చింది.

సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రంలో (అనగా, నూటనిక ప్రపంచంలో) ఒక వస్తువు స్థితి వర్ణించడానికి ఆ వస్తువు యొక్క స్థానం (position, x), దాని భారవేగం (momentum, p) తెలిస్తే చాలు. కానీ అణు ప్రపంచంలో ఒక వస్తువు స్థితి (state) వర్ణించడానికి స్థానం, భారవేగాల సమాచారం సరిపోదు. దీనికి కారణం ఏమిటంటే అణు ప్రపంచంలో రేణువులు గోళీలలా ప్రవర్తించవు. వాటి తీరే వేరు. స్థూల ప్రపంచంలో మనకి ఆసరాగా ఉన్న నమూనాలు సూక్ష్మ ప్రపంచంలో పని చెయ్యలేదు.

ఈ ఇబ్బందులని అర్థం చేసుకుందుకి చరిత్రలో కొంచెం వెనక్కి వెళ్లాలి. ఇంగ్లండులో నూటన్ (Newton, January 4, 1643 – March 31, 1727) కాంతి రేణువుల రూపంలో ఉటుందని ఒక వాదం లేవదీశాడు (Corpuscular theory). అదే రోజులలో హాయిగన్ (Huygens, 14 April 1629 – 8 July 1695) అనే డచ్చి దేశస్తుడు కాంతి తరంగాలు మాదిరి ఉంటుందని ఒక ప్రతి వాదం లేవదీశాడు. బతికున్నన్నాళ్లు కాంతి తత్త్వం యెడల విభేదాలతో ఇద్దరూ తగువులాడుకుంటూనే ఉండేవారు. థామస్ యంగ్ (Thomas Young, 13 June 1773 – 10 May 1829) అనే ఆసామీ, 1801 లో, చేసిన జంట-చిల్లుల ప్రయోగాల (double slit

experiments) ఫలితంగా కాంతి తరంగాలు మాదిరే ఉంటుందని అప్పటికి రూఢి అయింది. (బొమ్మ 1లో మొదటి బొమ్మ చూడండి.) కాంతి కెరటాలులా ఉన్నప్పుడే ఈ బొమ్మలో చూపిన ఫలితం సాధ్యం అవుతుంది.

కాంతి కెరటాలులా ఉంటుందని మేక్స్వెల్ కూడా అన్నాడు. లేదు, కాంతి రేణువులు లా కూడా ఉంటుందని ఆయిన్^స్టయిన్ అన్నాడు. కాంతి రేణువులకి ఫోటానులు (తేజాణువులు) అని పేరు పెట్టేడు. ఒక కాంతిపుంజంలో తేజాణువులు ఎక్కువ ఉంటే ఆ కాంతిపుంజం ఎక్కువ ధ్యుతితో ప్రకాశిస్తుందన్నాడు. కానీ ఒక తేజాణువులో నిబిడీకృతమైన శక్తి E ఆ తేజాణువుతో కూడిన తరంగపు తరచుదనం f మీద

$$E = hf$$

అనే సూత్రం ప్రకారం ఆధారపడి ఉంటుందన్నాడు. ఇక్కడ అయిన్^స్టయిన్ రెండు నాలికలతో మాట్లాడుతున్నాడు: ఒక పక్క కాంతి రేణువులు అంటున్నాడు, మరొక నోట తరంగాలు అంటున్నాడు!

విక్టర్ డిబ్రోలి (DeBroglie) రాచ వంశంలో పుట్టి, రాజకీయాలలో ప్రవేశిద్దామనే ఉద్దేశంతో, మానవీయ శాస్త్రాలు అధ్యయనం చేసి చరిత్రలో బి. ఏ. పట్టా పుచ్చుకున్నాడు. తరువాత గణితం, భౌతిక శాస్త్రాల వైపు దృష్టి మళ్లించి మరొక పట్టా పుచ్చుకున్నాడు. ఇంతలో మొదటి ప్రపంచ యుద్ధం రావడంతో సైన్యంలో చేరి రేడియో విభాగంలో పని చేసి 1924 లో పి. ఎచ్. డి. పట్టా కోసం సిద్ధాంత గ్రంథం సమర్పించేడు. అందులో అయన ఒక మౌలికమైన ప్రశ్న వేసి దానికి సమాధానం వెతికేడు.

ఏమిటా ప్రశ్న? “భారం లేని “శక్తి గుళిక” అయిన ఫోటాను ఒక రేణువు వలె ప్రవర్తించినప్పుడు, భారం ఉన్న ఎలక్ట్రాను ఒక తరంగంలా ఎందుకు ప్రవర్తించకూడదు?” ఫోటాను (తేజాణువు) అంటే ఒక “కాంతి గుళిక” లేదా “శక్తి గుళిక.” కాంతి కెరటాల మాదిరి, గుళికల మాదిరి ఉంటుందని అనుకుంటున్నాము కదా. అలాంటప్పుడు పదార్థం (ఎలక్ట్రానులు కావచ్చు, గోళీలు కావచ్చు, బంతులు కావచ్చు) కెరటాల మాదిరి ఎందుకు ఉండకూడదు? ఒక ఎలక్ట్రాను భారం m అయి, దాని వేగం v అయితే, అది కెరటంలా ఉందనుకుంటే, దాని తరంగ దైర్ఘ్యం విలువ

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

అని ప్రతిపాదించేడు డిబ్రోలి. ఈ సిద్ధాంత గ్రంథంలో వెల్లడించిన ఫలితాలు మింగుడు పడక అధికారులు ఈ గ్రంథాన్ని అయిన్^స్టయిన్ కి పంపి అయన అభిప్రాయం అడిగేరు. అయన ఆమోద ముద్ర వెయ్యడమే కాకుండా చాల మెచ్చుకున్నారు.

విక్టర్ డిబ్రోలి ప్రతిపాదించిన వాదాన్ని ప్రాయోగికంగా బలపరచినది అమెరికాలో, బెల్ ప్రయోగశాలలో, 1927 లో, పని చేస్తూన్న డేవిసన్–గెర్మర్ ద్వయం! వారి గమ్యం డిబ్రోలి వాదాన్ని బలపరచడం కానే కాదు. ఎలక్ట్రాన్ ప్రవాహం నికెల్ ఫలకం మీద పడి ఎలా పరావర్తనం చెందుతాయో చూస్తున్నారు వారు. ఆ ప్రయోగంలో వారికీ – అనుకోకుండా – ఎలక్ట్రానులు తరంగాల మాదిరి ప్రవర్తిస్తాయని ఋజువు దొరికింది. కనుక డిబ్రోలి 1929 లో నోబెల్ బహుమానం అందుకున్నాడు. పి. ఎచ్. డి పరిశోధన గ్రంథానికి నోబెల్ బహుమానం రావడం ఇదే మొదటి సారి!

పదార్థం (matter) యొక్క రేణువులు కొన్ని సందర్భాలలో తరంగాల మాదిరి ప్రవర్తిస్తాయని చెప్పడమే కాదు. రేణువు చిన్నదయిన కొద్దీ దాని తరంగం పొడుగు (wavelength, λ) ఎక్కువ అవుతుందనిన్నీ, రేణువు జోరు తగ్గిన కొద్దీ దాని తరంగం పొడుగు ఎక్కువ అవుతుందనిన్నీ ఆయన చెప్పేరు. ఈ విషయాలని సంప్రదాయానుసారం రెండు సమీకరణాల ద్వారా రాస్తారు:

$$p = mv$$

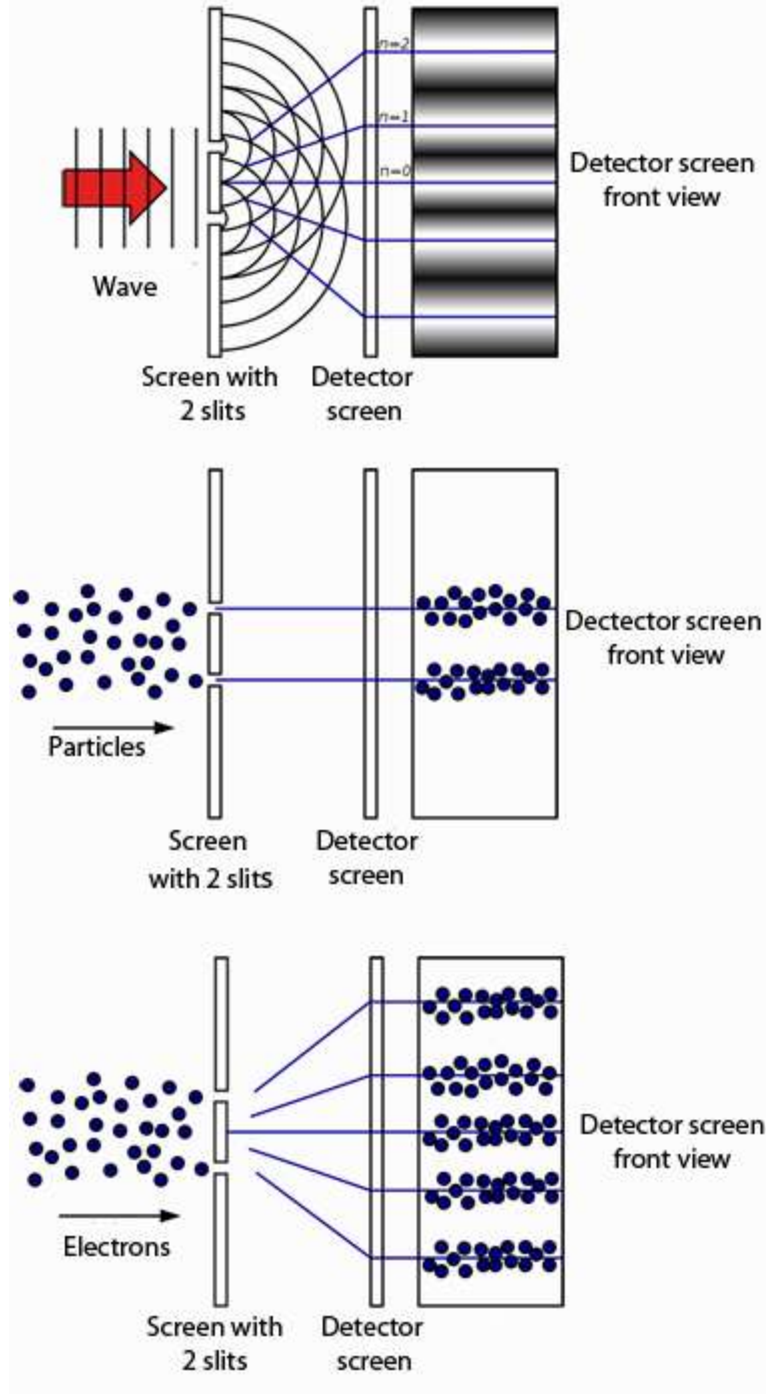
$$\lambda = h/p$$

ఇక్కడ మొదటి సమీకరణం పదార్థం యొక్క "రేణువు తత్త్వాన్ని" వర్ణిస్తే, రెండవ సమీకరణం పదార్థం యొక్క "తరంగం తత్త్వాన్ని" వర్ణిస్తోంది. మొదటి సమీకరణంలో m అనేది రేణువు యొక్క గరిమ లేక భారం (mass), v అనేది రేణువు యొక్క వేగం. ఇక్కడ వేగం అనేది సదిశరాసి (vector); ఇది రేణువు యొక్క జోరు (speed)ని, రేణువు ప్రయాణించే దిశని కూడా సూచిస్తుంది. ఎడం పక్క ఉన్న p ని "ఊపు" లేదా భారవేగం (momentum = mv) అంటారు. ఈ భారవేగం కూడా సదిశరాసి అవుతుంది.

రెండవ సమీకరణంలో ఉన్న λ (lambda) తరంగం యొక్క పొడుగు, h అనేది ప్లేంక్ స్థిరాంకం (Plank's constant). ఈ రెండవ సమీకరణాన్ని చూడగానే భారవేగం ఎక్కువ ఉన్న రేణువులతో కూడిన తరంగాల పొడుగు తక్కువ ఉంటుందని అర్థం అవుతోంది కదా.

ఇంతకీ ఎలక్ట్రానులు (పదార్థం) తరంగాల రూపంలో ఉంటాయా? రేణువుల రూపంలో ఉంటాయా? జంట చిల్లుల ప్రయోగం మరొక సారి చేసి చూసేరు – ఈ సారి ఎలక్ట్రానులతో (బొమ్మ మరొక సారి చూడండి)! బొమ్మలో మీదనున్న బొమ్మలో కాంతి రెండు చిల్లుల గుండా ప్రవహించినప్పుడు తెర మీద చారలు కనిపించేయి. ఈ రకం బొమ్మని ఇంగ్లీషులో interference bands అంటారు. ఒక చిల్లు లోంచి వెళ్లిన తరంగం మరొక చిల్లులోంచి వెళ్లిన తరంగంతో జోక్యం కలుగజేసుకోవడం వల్ల వచ్చిన చారలు కనుక దీనిని మనం తెలుగులో "జోక్యపు చారలు" అందాం. ఇదే చిల్లుల లోంచి రేణువులు ప్రయాణం చేస్తే "జోక్యపు చారలు" ఎలా ఉండాలో మధ్య బొమ్మలో చూపించేను. ఎలక్ట్రానులు రేణువులు అయితే "జోక్యపు చారలు" కూడా ఇదే విధంగా ఉండాలి. కాని ఎలక్ట్రానులతో ప్రయోగం చేసి చూస్తే అడుగున ఉన్న బొమ్మలో చూపినట్లు "జోక్యపు చారలు" మళ్లా కనిపించేయి. ఈ విద్దూరపు ఫలితానికి కారణం అర్థం కాలేదు. కనుక డిబ్రోలీ చెప్పినట్లు ఎలక్ట్రానులు తరంగాలు లాగనూ ప్రవర్తిస్తాయి, రేణువులు లాగనూ ప్రవర్తిస్తాయి అని అంతా ఒప్పుకోక తప్పలేదు.

ఇది కొత్త తరం భౌతిక శాస్త్రం. పాత పద్ధతులని పక్కకి పెట్టాలి. ఈ సందర్భంలో ష్రోడింగర్ రంగ ప్రవేశం చేసేడు.



బొమ్మ 1. జగద్విఖ్యాతి చెందిన రెండు చిల్లుల ప్రయోగం

17. అనిర్ధారిత సూత్రం

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

THE UNCERTAINTY PRINCIPLE

స్థూల ప్రపంచం ఖణిగా, స్ఫుటంగా అగుపిస్తుంది. సూక్ష్మ ప్రపంచం అంతా మసకే, స్పష్టత లేదు; నిశ్చయంగా 'ఇది' అని ఇదమిత్థంగా చెప్పలేము. ఈ అస్పష్టతని, ఈ అనిశ్చిత స్థితిని ఒక గణిత అసమీకరణం (inequality) లో బంధించి చూపిస్తుంది హైజెన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత లేదా అనిశ్చితత్వ సూత్రం. కనుక అనిర్ధారిత సూత్రం అనేది అణు ప్రపంచానికి సంబంధించిన సూత్రం. ఈ సూత్రం కూడా నిక్కచ్చిగా 'ఇంత' అంటూ ఒక సమీకరణం రూపంలో ఉండదు; 'ఇంతకి తక్కువో, లేక ఇంతకి సమానమో' అంటూ నీళ్లు నములుతుంది.

ఈ సూత్రం గుళిక వాదం (Quantum theory) కి ఆయువుపట్టు! ఈ సత్యం ఆవిష్కరించినందుకు హైజెన్బర్గ్ కి నోబెల్ బహుమానం ఇచ్చేరు. హైజన్బర్గ్ ప్రవచించిన అనిర్ధారిత సూత్రం ఎంత మౌలికమో అంత అనుభావాతీతం.

ఈ నేపథ్య సమాచారం అంతా అలా పక్కన పెట్టి హైజెన్బర్గ్ ప్రతిపాదించిన

$$(\Delta x)(\Delta p) \geq h/4\pi; \quad h/4\pi = 5 \times 10^{-35}\, joule\ sec$$

అనే అసమీకరణం (inequality) ని అర్థం చేసుకుందుకు ప్రయత్నిద్దాం. ఇక్కడ కుడి వైపు ఉన్న $h/4\pi$ విలువ అత్యల్పం అని గమనించండి. అనగా (Δx) ని (Δp) చేత గుణించగా వచ్చిన లబ్ధం ఎల్లప్పుడూ ఈ అత్యల్పమైన విలువ కంటే హెచ్చుగా ఉంటుంది అని ఈ సూత్రం హెచ్చరిస్తోంది. కుడి వైపు ఉన్న $h/4\pi$ ఎలా వచ్చిందో చెప్పడం కొంచెం కష్టం కానీ, భిన్నంలో లవం విలువ అత్యల్పం కనుక ఎడం పక్క కూడా అత్యల్పం అయినప్పుడే ఈ సూత్రం అర్థవంతం అవుతుంది. అనగా ఈ సూత్రం సూక్ష్మ ప్రపంచంలోనే అర్థవంతం అవుతుంది. అందుకనే ఈ సూత్రాన్ని స్థూల ప్రపంచంలో వాడి చూడడం దండగ!

ఇక్కడ (Δx) అనేది ఒక రేణువు (లేదా, ఎలక్ట్రాను) ఎక్కడుందో తెలియని మన అజ్ఞానాన్ని సూచిస్తుంది. అదే విధంగా (Δp) ఆ రేణువు యొక్క భారవేగం ఎంతో తెలియని మన అజ్ఞానాన్ని సూచిస్తుంది. కనుక $x = 0$ అయినప్పుడు x ఎడల మన అజ్ఞానం శూన్యం; అనగా, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో మనకి కచ్చితంగా తెలుసన్నమాట. అప్పుడు హైజెన్బర్గ్ ఇచ్చిన అసమీకరణం చెల్లాలంటే p అనంతంగా పెరిగిపోవాలి. ఇదే విధంగా, $p = 0$ అయినప్పుడు p ఎడల మన అజ్ఞానం శూన్యం. అనగా, ఎలక్ట్రాను భారవేగం ఎంతో మనకి కచ్చితంగా తెలుసన్నమాట. అప్పుడు హైజెన్బర్గ్ ఇచ్చిన అసమీకరణం చెల్లాలంటే x అనంతంగా పెరిగిపోవాలి. అనగా, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో మనకి తెలియదన్నమాట! దీని సారాంశమేమిటంటే ఎలక్ట్రాను వంటి చిన్ని రేణువు ఎక్కడుందో తెలిస్తే దాని వేగం నిర్ధారించలేము, దాని వేగం తెలిస్తే ఎక్కడుందో నిర్ధారించలేము. ఈ రెండింటిని ఒకే సారి

నిర్ధారించి కొలవడం అసాధ్యం! కష్టం కాదు; అసాధ్యం! ఇది ప్రకృతి లక్షణమే కానీ మన అసమర్ధతకి సూచిక కాదు. అనగా, మనం ఎంత తెలివైనవాళ్లమి అయినా, ఎంత స్ఫూర్తివంతులమైనా ప్రకృతి విధించిన ఈ ఆంక్షని జవదాటలేము.

ఈ విషయం సమగ్రంగా అర్థం చేసుకుందుకు ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం (thought experiment) చేద్దాం. ఎలక్ట్రానుని ఎంతో చిన్నదైన నలుసులా ఊహించుకోవచ్చు. అనగా, దాని భారం అత్యల్పం. దీనిని చూడాలంటే దీని మీద ఒక కాంతి కిరణాన్ని ప్రసరించాలి. ఆ కాంతి ఎలక్ట్రాను మీద పడి, పరావర్తనం చెంది, మన కంటికి చేరినప్పుడు ఆ ఎలక్ట్రాను మనకి కనిపిస్తుంది. ఒక బంతిని కాలితో తన్నగలము కానీ ఒక ఇసుక రేణువుని తన్న కలమా? ఇసుక రేణువు కంటే మన పాదం ఎంతో పెద్దది. కనుక ఇసక రేణువుని కదపడానికి చిన్న పూతిక పుల్లని వాడాలి. అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను మీద పడ్డ కాంతి తరంగం పరావర్తనం చెంది మన కంటికి చేరాలంటే ఎలక్ట్రాను ప్రమాణంలో (అనగా ఒక ఎంగ్^స్ట్రం ప్రమాణంలో) ఉన్న అతి చిన్న కాంతి తరంగాలు వాడాలి. కానీ కాంతి తరంగాల నిడివి తగ్గుతున్న కొద్దీ వాటిలో ఇమిడి ఉన్న శక్తి పెరుగుతుంది. అనగా, ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉందో "చూడాలంటే" దాని మీద అతి శక్తివంతమైన కాంతిని ప్రసరించాలి. అంత శక్తిమంతమైన కాంతి అంత తేలికగా ఉన్న ఎలక్ట్రాను మీద పడేసరికి తుపాను గాలిలో కాగితంలా ఎలక్ట్రాను ఎగిరిపోతుంది. అప్పుడు దాని వేగం కొలవగలము కానీ అది ఎక్కడుందో నిర్ధారించలేము.

1. స్థూల ప్రపంచంలో అనిర్ధారిత సూత్రం

ఈ సూత్రాన్ని స్థూల ప్రపంచంలో వాడి ప్రయోజనం లేదని పైన అనుకున్నాము కదా. సరదాకి స్థూల ప్రపంచంలో వాడితే ఏమవుతుందో చూద్దాం. ఉదాహరణకి ఒక బంతి కిలో భారం (mass) ఉంటుందని అనుకుందాం. ఈ బంతిని గంటకి 100 మైళ్ళు (లేదా సెకండుకి 44 కిలోమీటర్లు) జోరుతో విసిరేమనుకుందాం. ప్లేంక్ స్థిరాంకం, $h = 6.63 \times 10^{-34}$; అనగా, 6.63 ని భిన్నం యొక్క లవంలో వేసి, భిన్నం యొక్క హారంలో 1 వేసి, దాని పక్కన 34 సున్నాలు చుట్టాలని అర్థం. అనగా, h విలువ చాల తక్కువ అని గ్రహించునది! ఇప్పుడు ఈ విలువలని పై సమీకరణాలలో ప్రతిక్షేపించి లెక్క పూర్తి చేస్తే బంతితో కూడిన తరంగం పొడుగు అత్యల్పం అని తేలుతుంది; "బంతి తరంగం" పొడుగు అణుగర్భంలో ఉన్న ప్రోటాను ఉరువు (size) కంటే 20 రెట్లు తక్కువ ఉంటుంది అని తేలుతుంది. (కాగితం, కలం తీసుకుని ఈ లెక్క ని కడితేరా చేసి చూడండి! రెండు నిమిషాల పని!) అనగా, బంతిని కావలిస్తే తరంగంలా ఊహించుకోవచ్చు కానీ పడి లేచే ఆ తరంగం లోని ఎగుడుదిగుడులు అతి సూక్ష్మం – ఆ తేడాలు మన కంటికి ఆనవు. అందుకనే బంతి తరంగంలా కనిపించదు.

2. సూక్ష్మ ప్రపంచంలో అనిర్ధారిత సూత్రం

ఇప్పుడు ఇదే లెక్కని సూక్ష్మ ప్రపంచంలో – బంతికి బదులు ఎలక్ట్రానుతో – చేద్దాం.

ఎలక్ట్రాను భారం $= 10^{-30}\, kg$

ఎలక్ట్రాను వేగం $= 1,000\, m/s$ అనుకుందాం.

ఈ విలువలని ప్రతిక్షేపిస్తే "ఎలక్ట్రాను తరంగం" పొడుగు,

$$\lambda = h/mv = (6.63 \times 10^{-34})/10^{-30} \times 1000$$

ఎరుపు రంగు ఉన్న కాంతి తరంగం పొడుగు దరిదాపు ఈమాత్రం ($663\, nm$) ఉంటుంది. అనగా, ఈ ఎలక్ట్రానుని మనం "చూడగలిగితే" అది ఎర్రగా కనిపించాలి. ఎలక్ట్రాను మన కంటికి కనబడదు కానీ, ఈ ఎరుపు రంగు గీతని వర్ణమాలాదర్శనిలో చూడవచ్చు.

3. మరొక స్ఫురణ ప్రయోగం

స్థూల ప్రపంచానికి సూక్ష్మ ప్రపంచానికి మధ్య తేడాని చూపించడానికి మరొక స్ఫురణ ప్రయోగం చేద్దాం. లెక్క సౌలభ్యం కొరకు $h/4\pi = 1$అని అనుకుందాం. బిలియర్డ్ ఆటలో వాడే ఒక బంతిని తీసుకుందాం. లెక్క సౌలభ్యం కొరకు ఈ బంతి భారం ఒక కిలో ఉంటుందని అనుకుందాం. ఈ బంతిని బిలియర్డ్ ఆటలో వాడే ఒక త్రిభుజాకారపు చట్రంలో ఉంచుదాం. (ఈ చట్రం త్రిభుజాకారంగా ఉండాలని నియమం ఏదీ లేదు.) ఈ త్రిభుజంలో భుజం పొడుగు ఒక అడుగు లేదా 0.3 మీటర్లు అనుకుందాం. బంతి ఒకే దిశలో (x – దిశలో) మాత్రమే కదలగలదని అనుకుందాం. ఇవన్నీ చిత్తుగా చేస్తున్న లెక్కలే!



బొమ్మ 2. చట్రంలో బంధించిన బంతి కథనం

ఇప్పుడు $(\Delta x) = 0.3$ మీటర్లు.

అనిర్దిష్ట సూత్రం ప్రకారం, ($h/4\pi = 1$ అనుకున్నాం కనుక)

$(\Delta x)(\Delta p) \geq 1$ అవుతుంది.

ఇప్పుడు $(\Delta x) = 0.3$ విలువని ఇందులో ప్రతిక్షేపిస్తే

$(\Delta p) \geq 1/(\Delta x) = 1/0.3 \approx 3\, km/sec$

ఇప్పుడు చట్రంలో బందీ అయిన బంతి వేగం (v) లెక్క కడదాం. బంతి భారవేగం $p = mv$ కనుక

$(\Delta p) = m(\Delta v)$ అవుతుంది. ఇప్పుడు

$(\Delta v) = 1/0.3 = 3\, km/sec$, (m = 1 kg అనుకున్నాం కనుక).

అనగా, బంతిని త్రిభుజాకారపు చట్రంలో బంధిస్తే ఆ బంతి నిలకడగా ఉండలేదు; సెకండుకి 3 కిలోమీటర్లు చొప్పున పరిగెడుతూ ఉంటుంది! అనగా గంటకి, ఉరమరగా, $11{,}000$ కిమీ వేగంతో పరిగెడుతూ ఉంటుంది! అంటే, విమానం కంటే జోరుగా!

ఏదీ, ఒక బంతిని చట్రంలో పెట్టి బంధిస్తే ఇంత జోరుగా పరిగెత్తదేమి? కారణం ఏమిటంటే లెక్క సౌలభ్యం కోసం మనం $h/4\pi = 1$ అని అనుకున్నాం. ఇది నిజం కాదు. నిజానికి $h/4\pi = 5 \times 10^{-35}$; ఈ విలువ వాడి ఉంటే బంతి ఎంత జోరుగా పరిగెట్టేదో మరొక సారి లెక్క వేసి చూడండి. మీకు వచ్చే సమాధానం చెబితే ఆశ్చర్యపోతారు. పది బిలియను $(10{,}000{,}000{,}000)$ సంవత్సరాలలో బంతి ప్రోటాను ఉరువు (size) లో 20 వ భాగం కదిలి ఉండేది! ఆ కదలిక గమనించడం మన తరమా! కనుక స్థూల ప్రపంచంలో అనిర్దిష్ట సూత్రం ప్రభావం కనబడదు.

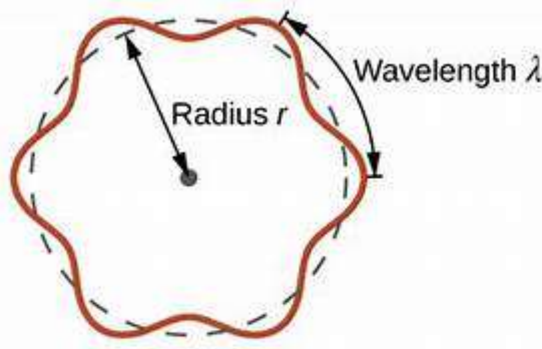
ఇదే లెక్కని బంతి స్థానంలో ఎలక్ట్రానుని పెట్టి చేద్దాం. త్రిభుజాకారపు చట్రానికి బదులు ఉదజని అణువుని పెడదాం. ఉదజని అణువు ఉరువు ఒక ఎంగ్^ష్ట్రం లేదా 1×10^{-10} మీటర్లు. ఎలక్ట్రాను భారం 1×10^{-30} కిలోగ్రాములు. ఈ విలువలు ప్రతిక్షేపించి లెక్క మళ్లా చేస్తే ఎలక్ట్రాను వేగం సెకండుకి 500 కిలో మీటర్లు వస్తుంది. (పోలిక కోసం: విమానం వేగం, సెకండుకి 0.2 కిలో మీటర్లు. కాంతి వేగం, సెకండుకి $300,000$ కిలో మీటర్లు.)

ఈ లెక్కల సారాంశం ఏమిటి? అణు ప్రపంచపు తీరు మనకి పరిచితమైన స్థూల ప్రపంచపు తీరుకి విరుద్ధంగా ఉంటుంది. అణు ప్రపంచంలో మనకి కలిగే అనుభవాలు మనం కనీ, వినీ, ఎరగని అనుభవాలు. ఈ అనుభవాలని వర్ణించి చెప్పడానికి మానవ భాషలలో మాటలు లేవు. మాటలు లేకపోతే పాఠాలు చెప్పడం ఎలా? అందుకని గణిత భాష మీద ఆధారపడక తప్పదు.

18. ష్రోడింగర్ సమీకరణం



ఒక రేణువులా ఉన్న ఎలక్ట్రాను తన గతి వెంబడి గుండ్రంగా తిరుగుతూ – సూర్యుడి చుట్టూ తిరిగే గ్రహంలా – ఉంటుందని బోర్ ప్రతిపాదిస్తే, ఎలక్ట్రాను కెరటంలా ఉంటుందని డిబ్రోలి ప్రతిపాదన? ఈ రెండు ఊహలకి పొంతన ఎలా కుదురుతుంది? ఎలక్ట్రాను తన గతి వెంబడి ఒక గానుగెద్దులా కాకుండా ఇటు, అటు ఊగుతూ కెరటంలా ప్రయాణిస్తున్నాదేమో? (బొమ్మ చూడండి.)



బొమ్మ 1. ఎలక్ట్రాన్ ని నిలకడ తరంగంలా ఊహించుకోవడం

ఇటువంటి తరంగాలని నిలకడ తరంగాలు (standing waves) అంటారు. ఒక వృత్తం వ్యాసార్ధం r అయితే ఆ వృత్తం చుట్టు కొలత $2\pi r$ అవుతుంది. ఇలా ఎలక్ట్రాను ప్రయాణించే పరిధి పొడుగులో ఒకటో, రెండో, మూడో,.... తరంగాలు పట్టాలంటే $2\pi r = 1\lambda$ కానీ, $2\pi r = 2\lambda$ కానీ, $2\pi r = 3\lambda$ కానీ, ... అవాలి. ఒక పరిధి పొడుగులో ఒకటిన్నర, రెండుంపావు, మొదలైన అసంపూర్ణ తరంగాలు ఉండవు కదా. ఈ క్షేత్ర గణిత నిబంధనని ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv}, n = 1, 2, 3, ...$$

ఇప్పుడు అడ్డ గుణకారం చేసి, కోణీయ భారవేగం (angular momentum) విలువ రాస్తే, అది బోర్ చెప్పినట్లుగానే వస్తుంది.

$$mvr = \frac{hn}{2\pi}, n = 1, 2, 3, .$$

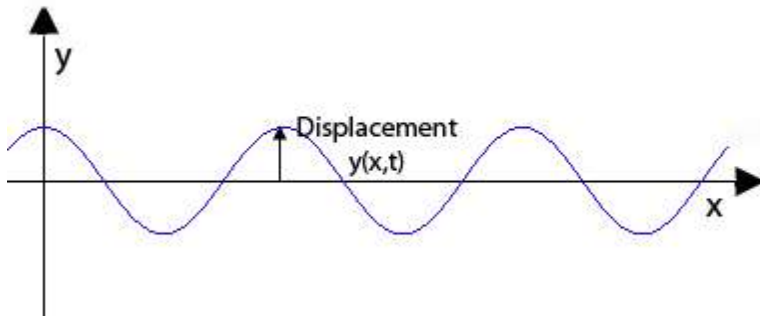
1. ష్రోడింగర్ తరంగ ప్రమేయం

డిబ్రోలి సాధించిన ఈ ఫలితం చూడగానే ఆస్ట్రియాలో ఉన్న ఎర్విన్ ష్రోడింగర్ (Erwin Schrödinger) కి ఒక ఊహ తట్టింది. ఎలక్ట్రానుని ఒక రేణువులా కాకుండా ఒక తరంగంలా ఊహించుకుని దానిని వర్ణించడానికి ఒక సమీకరణం రాస్తే? తరువాత ష్రోడింగర్ ఒక విద్వత్ సభలో

మాట్లాడుతూ ఉంటే ఒక విద్యార్థి అడిగేడు: “డి బ్రోలీ ప్రతిపాదించిన “పదార్థ తరంగాలు” (matter waves) నిలకడగానే ఉన్నాయేమి? కాలంతో మారవా?” ఈ ప్రశ్నకి సమాధానం వెతుకుతూ ష్రోడింగర్ రెండు వారాలపాటు శ్రమ పడి 1926 లో మనందరికీ పరిచయమైన, కాలంతో మారే, “ష్రోడింగర్ తరంగ సమీకరణం” ప్రచురించేడు.

ఈ సమీకరణం ష్రోడింగర్ బుర్రలోకి ఎలా వచ్చిందో చెప్పాలంటే గణితంతో పరిచయం ఉన్నంత మాత్రాన సరిపోదు; కొంచెం తాత్త్విక చింతన ఉండాలి. మన ఋషుల మస్తిష్కాలలో వాటంతట అవిగా పుట్టుకొచ్చిన ఊహలని మనం “స్మృతులు” అన్నట్లే ఈ సమీకరణం ష్రోడింగర్ బుర్రలో పుట్టుకొచ్చి ఉండాలి. కానీ ఆయన ఊహలకి పునాదులు ఎలా పడ్డాయో ఉహించి చెబుతాను.

ఒక తాడు కొసని ఒక రాటకి కట్టి, రెండవ కొసని చేత్తో పట్టుకుని పైకి, కిందకి ఉపేమని అనుకుందాం. అప్పుడు ఆ తాడు ఈ దిగువ చూపిన బొమ్మలోలా కనిపిస్తుంది.



బొమ్మ 2. ఒక దిశలో ప్రయాణం చేసే తాడు తరంగం.

రాట నుండి దూరం వెళుతున్నకొద్దీ (అనగా, x విలువ పెరుగుతున్న కొద్దీ) తాడు కొన్ని చోట్ల ఎగువకి, కొన్ని చోట్ల దిగువకి పాము మెలికలులా ఊగుతూ కనిపిస్తుంది కదా. ఈ డోళన పరిమితిని $y(x, t)$ అందాం. దీని విలువ నిశ్చయించడానికి నూటన్ రెండవ సూత్రం ఉపయోగించి $y(x, t)$ విలువని ఈ దిగువ చూపిన తరంగ సమీకరణం (wave equation) పరిష్కరించి కనుక్కోవచ్చు.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2},$$

ఈ సమీకరణం ఎలా ఉత్పన్నం అవుతుందో మనకి తెలుసు. దీనిని పరిష్కరించగా వచ్చిన సమాధానమే

$$y(x, t) = A\cos\omega(t - \frac{x}{v})$$

ఇది ఎడమ నుండి కుడికి ప్రయాణం చేసే తాడు తరంగం (travelling wave of a rope). వివరాలు అర్థం కాకపోయినా పరవా లేదు. గమనించవలసినది ఏమిటంటే ఇక్కడ, ఈ తాడు తరంగం, ఒక్క $x-$దిశలోనే కదులుతోంది.

కానీ మనకి కావలసినది ఎలక్ట్రాన్ తరంగం. ఈ ఎలక్ట్రాన్ కెరటం మూడు దిశలలో ప్రయాణం చేస్తుంది. అనగా, తాడు తరంగంలా ఏక-దిశాత్మకంగా ప్రయాణించదు, చెరువులో రాయి వేసినప్పుడు వచ్చే కెరటంలా, ఒక ఉపరితలం మీద ద్వి-దిశాత్మకంగా పరిగెట్టదు. ఈ ఎలక్ట్రాన్ తరంగం త్రి-దిశాత్మకం – బుడగని ఊది నట్లు – కేంద్రం నుండి అన్ని దిశలలోకి వ్యాపిస్తుంది. ఈ

రకం తరంగాన్ని వర్ణించడానికి ష్రోడింగర్ ఈ దిగువ చూపిన సమీకరణాన్ని వాడేరు. ఇది ఎలా ఉత్పన్నమయిందని అడగకండి.

$$\frac{ih}{2\pi}\frac{\partial\Psi}{\partial t} = -\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2}\right) + V\Psi.$$

ఇక్కడ V అనేది ఎలక్ట్రాన్ స్థితిజ శక్తి , m అనేది ఎలక్ట్రాన్ భారం, h అనేది ప్లేంక్ స్థిరాంకం, $i = \sqrt{-1}$. ఈ సమీకరణాన్ని పరిష్కరిస్తే వచ్చే సమాధానం $\psi(x, y, z, t)$. దీనిని తరంగ ప్రమేయం (wavefunction) అంటారు.

ఈ సమీకరణం అనేక ఇతర రూపాలలో కూడా కనిపిస్తూ ఉంటుంది. దీనిని సమగ్రంగా అర్థం చేసుకోవడానికి ఇప్పుడు ప్రయత్నం చెయ్యడం అనవసరం కానీ ఈ సమీకరణాన్ని పరిష్కరించగా వచ్చిన ఫలితం – ష్రోడింగర్ తరంగ ప్రమేయం $\psi(x, y, z, t)$ – ఏమిటి చెబుతోంది? దాని అర్థం ఏమిటి? ఇది ఒక సమయంలో (అనగా, ఒక t వద్ద) ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంటుందో చెప్పటం లేదు! పోనీ, ఒక కాల వ్యవధిలో ఎలక్ట్రాను ప్రయాణించే గతి గురించీ చెప్పటం లేదు! మరి ఈ $\psi(x, y, z, t)$ ఏమిటి చెబుతోంది? మనకి తోచిన విలువలు x, y, z, t అనే చలరాసులకి ఇస్తే ఇది మనకి ψ విలువని ఇస్తుంది. దీని అర్థం ఏమిటి? ఈ ప్రశ్నకి మేక్స్ బోర్న్ (Max Born) వచ్చి $\psi(x, y, z, t)$ ఏమిటి చెబుతోందో వ్యాఖ్యానించేడు. అయన అన్నది ఏమిటంటే తరంగ ప్రమేయాన్ని వర్గీకరించగా వచ్చిన సంఖ్య, అనగా,

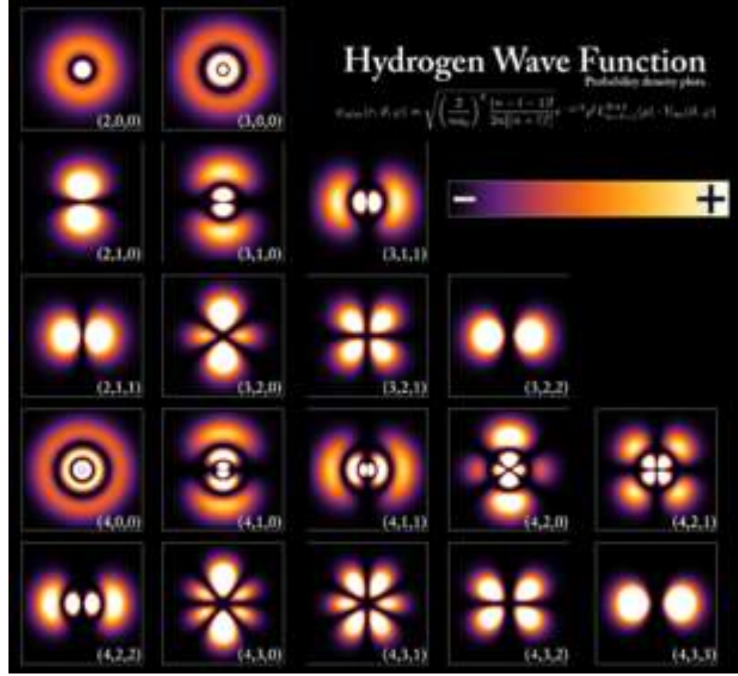
$|\psi(x,y,z,t)|^2$

ఫలానా చోట, (అనగా, x, y, z దగ్గర) ఫలానా వేళప్పుడు (అనగా, t దగ్గర) ఎలక్ట్రాను కనబడే సంభావ్యత యొక్క సాంద్రత (probability density) ని చెబుతుంది" అన్నాడు.

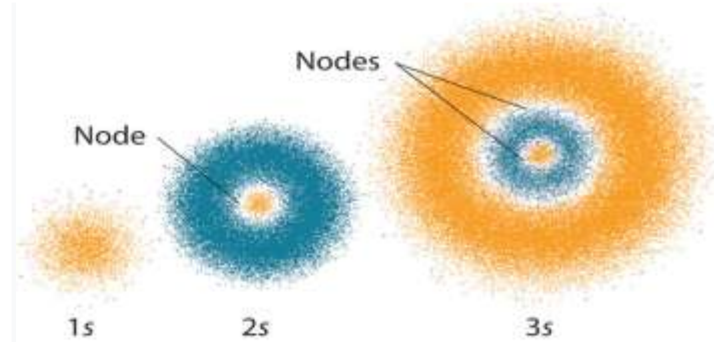
అనగా, ఒక ప్రదేశం R లో ఎలక్ట్రాను కనబడే సాంద్రత కావాలంటే ఈ దిగువ వ్యక్తీకరణం (expression) విలువని కట్టాలి:

$$\int_R |\psi(x,y,z,t)|^2 dxdydz$$

ఉదజని అణువు విషయంలో ఈ వ్యక్తీకరణం విలువలు ఎలా ఉంటాయో బొమ్మలో చూపుతున్నాను. ఈ బొమ్మని బట్టి మనకి అర్థం అయేది ఏమిటంటే ష్రోడింగర్ యొక్క తరంగప్రమేయమూ, మనం గతంలో అధ్యయనం చేసిన విగతులూ (orbitals) – రెండూ ఒక్కటే! నిజానికి రసాయన శాస్త్రజ్ఞుల దృష్టిలో ఎలక్ట్రాను 90 శాతం ఎక్కడ కనిపిస్తోందని అనుకుంటున్నామో ఆ ప్రదేశపు ఆకారమే "విగతి" అంటే! ఇదే విషయాన్నీ "ఎలక్ట్రాను కనబడే సంభావ్యత" గా వర్ణించడానికి ష్రోడింగర్ సమీకరణం సహాయపడుతుంది. మరొక విషయం. "ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంది?" అని అడిగితే ష్రోడింగర్ తరంగ ప్రమేయం ప్రకారం ఎక్కడైనా ఉండొచ్చు. అనంతమైన దూరంలో ఉండొచ్చు. కేంద్రకానికి దగ్గరలో ఉండొచ్చు. ఇదమిత్థంగా చెప్పలేం.



బొమ్మ 3. ఉదజని అణువులోని ఎలక్ట్రాను యొక్క తరంగప్రమేయాలు. ఎక్కువ కాంతివంతంగా ఉన్న ప్రదేశాలలో ఎలక్ట్రాను కనబడే సంభావ్యత ఎక్కువ.



బొమ్మ 4. వివిధ కోశాలలో (శక్తి స్థానాలలో) ఉన్న ఎలక్ట్రాను మేఘాల ఆకారాల అడ్డుకోతలు. అన్ని s కోశాలలోను ఎలక్ట్రాను మేఘాలు గోళాల ఆకారం లోనే ఉంటాయి.

2. శ్రోడింగర్ సమీకరణం ఎక్కడనుండి ఊడిపడింది?

ఇంత ఇబ్బంది పడి శ్రోడింగర్ సమీకరణం అధ్యయనం చెయ్యకపోతే వచ్చిన నష్టం ఏమిటి? "శ్రోడింగర్ సమీకరణం శ్రోడింగర్ స్మృతిపథంలో మెరుపులా మెరిసింది" అంటే శాస్త్రం ఒప్పుకుంటుందా? "ఇటువంటి ప్రశ్నలు అడగడం శుష్క దండగ" అన్నారు ప్రఖ్యాత శాస్త్రవేత్త రిచ్చర్డ్ ఫైన్^మన్^. "ఈ సమీకరణం ఎక్కడనుండి వచ్చిందా? శ్రోడింగర్ బుర్ర లోంచి!"

అయినప్పటికీ గుళిక వాదంలో శ్రోడింగర్ సమీకరణం వేదవాక్కు! ఈ సమీకరణం ద్వారా ఉత్పన్నమైన ఫలితాలు అన్నీ ప్రయోగాత్మకంగా ఋజువు అయేయి. అవుతున్నాయి. సాంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రానికి నూటన్ సూత్రాలు ఎంత మౌలికమో గుళిక భౌతిక వాదానికి శ్రోడింగర్ సమీకరణం కూడా అంతే మౌలికం అయిపోయింది.

19. ష్రోడింగర్ పిల్లి

ష్రోడింగర్ పిల్లి అనేది ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం (thought experiment), అనగా ఇది కేవలం ఊహాజనితమైన ప్రయోగం. ఈ ప్రయోగం చెయ్యడానికి ష్రోడింగరూ అక్కర లేదు, పిల్లీ అవసరం లేదు, ప్రయోగశాలతో పని లేదు. పడక కుర్చీలో వాలి, ఆలోచించగలిగే శక్తి ఉంటే చాలు.

భౌతిక శాస్త్రంలో ఆధునిక దృక్పథంతో గుళిక వాదం (Modern Quantum Theory) ప్రవేశించిన సందర్భంలో ఒక విషమ సమస్య ఎదురయింది. "ఈ సమస్య ఎలా ఉందంటే..." అంటూ ష్రోడింగరు వ్యాఖ్యానిస్తూ ఇచ్చిన ఉపమానాన్నే "ష్రోడింగర్ పిల్లి" అని అభివర్ణిస్తారు.

రజ్జుసర్ప భ్రాంతి అనే పదబంధం వినే ఉంటారు. రజ్జువు అంటే తాడు, సర్పం అంటే పాము కనుక రజ్జు సర్ప భ్రాంతి అంటే తాడుని పామనుకోవడం. చీకట్లో నడుస్తూన్నప్పుడు కాలికి ఏదో పొడుగ్గా, మెత్తగా తగులుతుంది. అది పామేమో అని భ్రాంతిపడి, భయపడతాము. గుండె దడదడ కొట్టుకుంటుంది. అది కేవలం తాడు మాత్రమే అయితే బాగుండిపోతుంది అని మనస్సులో దేవుడికి దండం పెట్టుకుంటాం. చేతిలో దీపం ఉంది. ఆ దీపాన్ని పాదాల మీద వేసి చూస్తే నిజం తేలిపోతుంది. కానీ ఆ దీపం వేసి చూసేవరకు కాలి కింద పడినది ఏమిటి? తాడు, పాము – రెండూ నిజాలే! దీపం వేసి చూడగానే అది కేవలం తాడు మాత్రమే అని తెలుసుకున్నప్పుడు ముందు పడ్డ భయం అంతా

మటుమాయం అయిపోతుంది. ఇక్కడ "దీపాన్ని పాదాల మీద వేయడం" అన్నది ప్రయోగం. ఈ ప్రయోగం జరిగిన తరువాత "తాడా? పామా?" అని రెండు దిశలలో పరిగెడుతున్న మనస్సు కుదుటపడి అది తాడు మాత్రమే అని నిశ్చయించుకుంటుంది. అప్పుడు మనస్సులో పాముకి ఇహ చోటు లేదు.

ఆధునిక భౌతిక శాస్త్రంలో ఇటువంటి పరిస్థితి ఒకటి ఎదురవుతుంది. సృష్టిలో అణువు (atom) కంటే చిన్నది ఒకటి ఉంది; దాని పేరు ఎలక్ట్రాను. ఇది కంటికి కనబడనంత చిన్నది. కానీ ఉండడం ఉంది. దీని ఉనికిని గణితపరంగా వర్ణించగలం. మొదట్లో ఇది చిన్న నలుసు లేదా రేణువు (particle) లా ఉంటుందనుకునేవారు. అప్పుడు ఆ రేణువు ఎక్కడ ఉంది? ఎంత జోరుగా కదులుతోంది? ఎంత శక్తిమంతంగా ఉంది? వగైరా ప్రశ్నలు పుడతాయి కదా? వీటన్నిటిని గుత్తగుచ్చి గణితపరంగా వర్ణించడానికి సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రంలో ఏ ఇబ్బందీ లేదు. కానీ గుళిక వాదంలో పదార్థానికి రెండు రకాల అస్తిత్వాలు ఉంటాయి: పదార్థం (matter) రేణువుల రూపంలో ఉండొచ్చు, తరంగాల రూపంలో ఉండొచ్చు. తరంగం రూపంలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుని వర్ణించడానికి "తరంగప్రమేయం" (wavefunction) అనే ఊహనాన్ని వాడడం ఒక పద్ధతి. ఈ తరంగప్రమేయం ఒక "కెరటం" వంటి ఆకారాన్ని గణిత సమీకరణం ద్వారా వర్ణిస్తుంది. ఎటువంటి కెరటం? నిశ్చలంగా ఉన్న తటాకం మధ్యలో ఒక గులకరాయి వేస్తే గుండ్రంగా, కదులుతున్న చక్రాలు మాదిరి పుట్టే కెరటం అనుకోవచ్చు. "ఈ కెరటం ఎక్కడ ఉంది?" అని ప్రశ్నిస్తే ఎక్కడ అని చెప్పగలం? అది చెరువు అంతటా వ్యాపించి

ఉంటుంది కదా! కానీ చుట్టూ చీకటి ఉన్నప్పుడు ఇవేమీ కనబడవు. మన చేతిలో ఉన్న దీపాన్ని చెరువు అంతటా వ్యాపించేటట్లు వెయ్యలేము కనుక ఎదో ఒక చోట వేస్తాం. అక్కడ కెరటం కనిపిస్తుంది. "కెరటం ఎక్కడ ఉంది?" అని అడిగితే "దీపం వేసిన చోట ఉంది" అని చెబుతారు. అనగా, దీపం ఎక్కడ వేస్తే అక్కడ కెరటం ఉన్నట్లు కనిపిస్తుంది. కేవలం కనిపించడమే కాదు; గుళిక వాదం (Quantum theory) ప్రకారం "దీపం ఎక్కడ వేస్తే కెరటం అక్కడే స్థిరపడిపోతుంది, మరెక్కడా ఉండదు." ఇది మన అనుభవానికి అతీతమైన ఊహనం. సారూప్యాలకి లొంగని ఊహనం.

ఈ దృగ్విషయాన్నే ఇంగ్లీషులో collapse of the wavefunction అంటారు. ఈ దృగ్విషయాన్ని ఉహించుకుందుకి ఒక ఉపమానం చెబుతాను. నాలుగు అంగుళాలు పొడుగున్న రోకలిబండ (centipede) నేల మీద పాకుతూ కనబడుతుంది. అ నాలుగంగుళాలు పొడుగున్న రోకలిబండే మన ఎలక్ట్రాను విహరించగలిగే సర్వ ప్రపంచం అనుకుందాం. అనగా మన తరంగప్రమేయం ఈ నాలుగంగుళాల మేర వ్యాపించి ఉంటుంది. ఎలక్ట్రాను ఎక్కడ ఉంది? అని అడిగితే అది ఈ నాలుగంగుళాల మేర వ్యాపించి ఉందని చెప్పాలి – గుళిక శాస్త్రం ప్రకారం. ఇప్పుడు ఒక చీపురుపుల్లతో ఆ రోకలిబండని ఎదో ఒక చోట తాకుదాం. (ఇది మనం చేసిన ప్రయోగం!) అప్పుడు ఆ రోకలిబండ ఆ తాకిన ప్రదేశం చుట్టూ చుట్ట చుట్టుకుపోతుంది కదా! అనగా నాలుగంగుళాల పొడుగు ఉన్న రోకలిబండ తాకిన ప్రదేశం దగ్గర ముకుళించుకుపోయి స్థిరపడిపోతుంది (లేదా collapse అయిపోతుంది). అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను ఫలానా చోట ఉందా, లేదా అని ప్రయోగం చేసి

నిశ్చయిద్దామని ప్రయత్నిస్తే ఆ ఎలక్ట్రాను ఆ "ఫలానా చోట" కూలబడిపోతుంది! అనగా, చూడడానికి ప్రయత్నిస్తే ఎక్కడ చూస్తామో అక్కడే కనబడుతుంది.

పరమాత్మ అంతటా ఉన్నాడంటాం. అంతటా ఉంటే ఎలా చూడకలం? ఎక్కడని చూడకలం? అందుకని ఎక్కడ ప్రతిష్ట చేస్తే అక్కడే ఉన్నాడంటాం కదా? అలాగనుకోండి. అందుకనే పరమాత్మ విశ్వవ్యాప్తం అని తెలిసుండి కూడా చూడడానికి దేవాలయానికి వెళతాం.

అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను ఉనికి విశ్వవ్యాప్తం. అది ఎక్కడ ఉందో చూడాలంటే దాని మీద "దీపం" వెయ్యాలి. దీపం ఎక్కడ వేస్తే అక్కడే ప్రతిస్థాపితమై కనిపిస్తుంది. అంటే మనం ప్రయోగం చేస్తే కానీ ఎలక్ట్రాను ఉనికిని నిర్ధారించలేము. ప్రయోగం ఎక్కడ చేస్తే అక్కడే కనిపిస్తుంది. ప్రయోగం చెయ్యకపోతే అది సర్వవ్యాప్తం! ఈ ఊహ అందరికి సులభంగా అర్థం అయేటట్లు చెప్పడానికి ష్రోడింగర్ ఒక స్ఫురణ ప్రయోగం చేసి చూడమని సలహా ఇచ్చేడు. ఆ స్ఫురణ ప్రయోగానికి బదులు నేను భారతీయ వేదాంత తత్త్వం దృష్టిలో వ్యాఖ్యానించేను.

ఇంతకీ ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన స్ఫురణ ప్రయోగం ఏమిటి?

తలుపులు, కిటికీలు అన్నీ మూసేసిన ఒక గదిలో ఒక పిల్లిని పెట్టమన్నాడు. ఆ గదిలో విషం కలిపిన పాల సీసా ఉంటుంది. ఒక గంట వ్యవధిలో, ఎప్పుడో ఒకప్పుడు, ఆ సీసా ఒలుకుతుంది. అప్పుడు ఆ పాలు తాగి ఆ పిల్లి చచ్చిపోతుంది. ఆ సీసా ఎప్పుడు ఒలుకుతుందో ఇదమిత్థంగా చెప్పలేము; అది యాదృచ్చికంగా జరిగే ప్రక్రియ.

ప్రశ్న: గదిలో పిల్లిని పెట్టి, కొంత కాలం పోయిన తరువాత "ఆ పిల్లి ఇంకా బతికే ఉందా, చచ్చిపోయిందా?" అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం చెప్పాలంటే, "తలుపు తీసి చూడడం" అన్న ప్రయోగం చేసి చూడాలి. తలుపు తీసి చూడనంత సేపూ "ఆ పిల్లి బ్రతికీ ఉంటుంది, చచ్చిపోయీ ఉంటుంది." కానీ "తలుపు తీసి చూడడం" అన్న ప్రయోగం చెయ్యగానే సందిగ్ధతకు తావు లేదు. చచ్చిందో, బ్రతికే ఉందో చూడగానే తేలిపోతుంది.

అదే విధంగా ఎలక్ట్రాను స్థితిని మనం అర్థం చేసుకోవాలి అంటాడు ష్రోడింగర్! మనం రజ్జుసర్ప భ్రాంతి అన్న భావాన్నే భౌతిక శాస్త్రంలో "ష్రోడింగర్ పిల్లి" అంటారు. పిల్లిని గదిలో బంధించి, అది బతికి ఉందా, చచ్చిపోయిందా అని మెట్ట వేదాంతపు ధోరణిలో వాదించుకుంటూ గంటలకొద్దీ కాలం గడపవచ్చు. అదంతా కంచిగరుడ సేవే అవుతుంది. ప్రయోగం చెయ్యగా వచ్చిన ఫలితానిదే ఎప్పుడూ పై చేయి అవుతుంది. తలుపు తెరచి చూడు: పిల్లి బతికి ఉందో చచ్చిపోయిందో తేలుతుంది. దీపం వేసి చూడు: కాలికి తగిలినది తాడో, పామో తేలిపోతుంది. నహి నహి రక్షతి డుకృఞ్ కరణే!

Schrodinger, in speaking of the universe in which particles are represented by wave functions, said, "The unity and continuity of Vedanta are reflected in the unity and continuity of wave mechanics. This is entirely consistent with the Vedanta concept of All in One."

"The multiplicity is only apparent. This is the doctrine of the Upanishads. And not of the Upanishads only. The mystical experience of the union with God regularly leads to this view, unless strong prejudices stand in the West." (Erwin Schrodinger: *What is Life?,* page 129, Cambridge University Press)

20. రసాయన బంధం

సర్వసాధారణంగా ప్రకృతిలో మనకి తారసపడే పదార్థాలు – దరిదాపుగా అన్నీ – కొన్ని మూలకాల సంయోగాలు. ఈ మూలకాలు ఒకదానితో మరొకటి ఎలా సంయోగం చెందుతాయి? ఎందుకు సంయోగం చెందుతాయి? ఇటువంటి ప్రశ్నలు డాల్టన్ కాలం నుండీ శాస్త్రవేత్తలు అడుగుతూనే ఉన్నారు. ఎవరికీ తోచిన నమూనాలు వారు ప్రవేశ పెడుతూనే ఉన్నారు. కానీ ఏ ఒక్క నమూనా అన్ని సందర్భాలలోనూ సంతృప్తికరమైన వివరణ ఇవ్వలేకపోయింది.

పందొమ్మిదవ శతాబ్దం ఆరంభం ఆయేనాటికి అణువులు (atoms) సంయోగం చెంది బణువులు (molecules) ఎలా అవుతాయో – అనగా, ఎయే నియమాలు పాటిస్తూ తయారవుతాయో – కొంతవరకు తెలుసుకున్నారు. అయానులు (ions), ధృవ బంధాలు (polar bonds), అధృవ బంధాలు (non-polar bonds), అంటూ కొంత పరిజ్ఞానం సంపాదించేరు.

ఏది ఏమయినప్పటికీ రసాయన బంధం అనేది విద్యుత్ ప్రేరకం – అనగా, విభిన్న విద్యుదావేశాల మధ్య ఉండే ఆకర్షణ – అనే నమ్మకం స్థిరపడిపోయింది. ఒక అణువు యొక్క బాహ్య కోశం లోని ఎలక్ట్రానులకీ, పొరుగున ఉన్న అణువుల కేంద్రకాలకి మధ్య ఉన్న ఆకర్షణే రసాయన బంధం అనే నమ్మకం బలం పుంజుకుంది. ఈ సందర్భంలోనే బాహుబలం లేదా బాలం (valency) అనే భావం

వాడుకలోకి వచ్చింది. ఒక అణువు మరొక అణువుతో సంయోగం చెందడానికి ఎంత బలంగా సుముఖత చూపుతుందో చెబుతుంది “బాలం” అన్న మాట. దీనినే “సంయోజకత” అని కూడా అంటారుట!

ఇహ నమూనాల పాత్ర ఏమిటి? ఆవర్తన పట్టికలో ప్రకృతిలో సహజసిద్ధమైనవి 92 మూలకాలు ఉన్నాయి కదా. అన్ని అణువులు ఒకే బాహుబలం ప్రదర్శించవు. ఈ మూలకాల అణువులతో జంటలు, గుంపులు చేసి చూస్తే అన్ని స్థిరత్వం ప్రదర్శించవు. ఒక అణువు మరొక అణువుతో జత కలిపినప్పుడు వచ్చే ఆకారం ఎలా ఉంటుందో ఆయా అణువుల లక్షణాలని బట్టి ఊహించవచ్చు. కానీ రసాయన బంధం ఎలా ఏర్పడుతుందో టూకీగా చెప్పబూనుకోవడం అసాధ్యం.

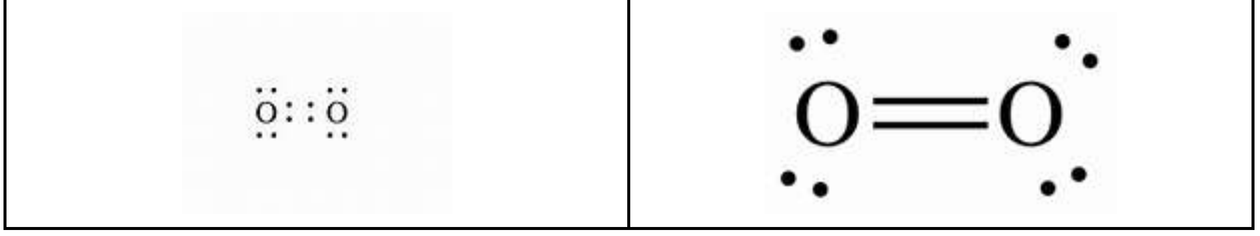
రసాయన బంధం అర్థం చేసుకోడానికి నిర్మించిన నమూనాలు స్థూలంగా రెండు వర్గాలకి చెందుతాయి: (1) సాంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రం ఉపయోగించి, (2) గుళిక భావాలు ఉపయోగించి. సంప్రదాయిక భౌతిక శాస్త్రం ఉపయోగించినప్పుడు ఎలక్ట్రానులని ఆవేశం పొందిన బిందువులులా ఉహించుకుంటాం. అప్పుడు వాటి మధ్య ఉండే స్థిర విద్యుత్ లక్షణాలని ఆధారంగా చేసుకుని నమూనాలు నిర్మిస్తాం. ఈ పద్ధతిలో – 1920 నుండి నేటి వరకు మనం నేర్చుకున్న గుళిక శాస్త్రాన్ని పూర్తిగా విస్మరించినా – చేసిన ప్రయత్నాలు పూర్తిగా వమ్ము కాలేదు. గుళిక భావాలు ఉపయోగించినప్పుడు ఎలక్ట్రానులని ఆవేశం పొందిన మేఘాలుగా ఉహించుకుంటాం. అప్పుడు ఈ

మేఘాల విగతుల ఆకారాలు (లేదా, వాటి శక్తి స్థానాలు) ఆధారంగా చేసుకుని నమూనాలు నిర్మిస్తాం. ఇక్కడ ఈ విషయాలని లోతుగా వెళ్లి అధ్యనం చెయ్యడం అసాధ్యం. ఒక నఖచిత్రంలా చూపెడతాను.

1. సహకార బంధం (Covalent Bond):

గుళిక వాదం తలెత్తుతున్న కొత్త రోజులలోనే మూలకాలు ఒకదానితో మరొకటి సంయోగం చెందడానికి చూపే సుముఖతకీ, రెండు ఎలక్ట్రానుల మధ్య ఉండే కూలుంబ్ బలం లేదా స్థిర విద్యుత్ బలం (static electric force) కీ మధ్య ఏదో బాంధవ్యబంధం ఉండకపోదు అనే అనుమానం పుట్టింది. రెండు అణువులకి చెందిన ఎలక్ట్రానులని ఆ రెండు అణువులు ఉమ్మడి ఆస్తిగా వాడుకునే సందర్భాలలోనే బణువులు పుడుతున్నాయనిన్నీ, వ్యష్టిగా ఉన్న అణువులో లేని స్థిరత్వం (stability) ఉమ్మడిగా ఉన్న బణువులో ఉంటుందనిన్నీ లూయిస్ (G. N. Lewis) ప్రతిపాదించారు.

ఉదాహరణకి ఆమ్లజని బాహుబలము 2. ఆమ్లజని అణువులో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం $1s^2, 2s^2, 2p^4$ కనుక రెండవ కోశంలో 6 ఎలక్ట్రానులే ఉన్నాయి; ఆ కోశం నిండడానికి మరొక రెండు ఎలక్ట్రానులు కావాలి. ఈ లోటుని భర్తీ చేసుకోడానికి మరొక అణువుతో బాంధవ్యం కలుపుకుని ఒక ఆమ్లజని బణువుగా తయారు కావచ్చు. ఇలా తయారయిన ఆమ్లజని బణువుకి స్థిరత్వం ఎక్కువ కనుకనే ప్రకృతిలో మనకి ఆమ్లజని ఎక్కువగా బణువు రూపంలోనే కనిపిస్తుంది.

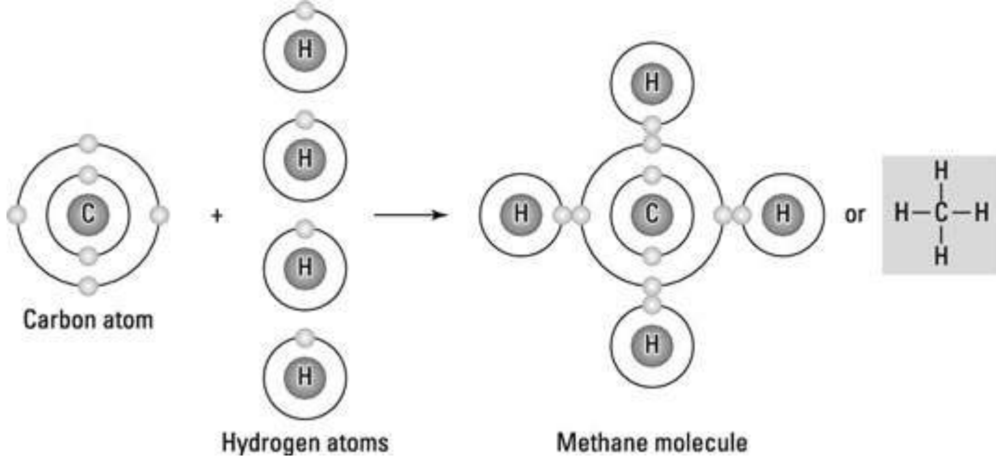


బొమ్మ 1. లూయిస్ చుక్కల పద్ధతిలో రెండు ఆమ్లజని అణువులు సంయోగం చెంది ఒక ఆమ్లజని బణువుగా తయారైన విధం.

బొమ్మలో ఎడమ పక్క. రెండు ఆమ్లజని అణువుల చుట్టూ ఉండే బాలపు ఎలక్ట్రానులని 6 చుక్కల రూపంలో చూపించేను. వెలితిని పూడ్చడానికి కావలసిన ఆ రెండు ఎలక్ట్రానులు ఎక్కడ దొరుకుతాయా అని రెండు ఎలక్ట్రానులూ చూస్తూ ఉంటాయి. రెండు ఆమ్లజని అణువులూ దగ్గరగా వచ్చేసరికి ఇటు నుండి రెండు, అటు నుండి రెండు ఉమ్మడిగా ఉండడానికి ఇష్టపడతాయి. ఇదే సహకార బంధం అంటే!

ఈ రెండు అణువులు సంయోగం చెందినప్పుడు వచ్చే ఆమ్లజని బణువుని కుడి పక్క చూపేను. కుడి వైపు బొమ్మలో ఉన్న రెండు గీతలు (జంట బంధం) “ఉమ్మడిగా ఉన్న” రెండేసి ఎలక్ట్రానులని సూచిస్తాయి. అనగా, జంట బంధం నాలుగు ఎలక్ట్రానులని సూచిస్తుంది. ఎడమ పక్క ఆమ్లజని అణువులో తనవైన నాలుగు, పొరుగు ఎలక్ట్రానుతో ఉమ్మడిగా పంచుకుంటూన్న నాలుగు, వెరసి ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులు కనుక దాని “కడుపు నిండిపోయింది.” అదే విధంగా కుడి వైపు అణువు కూడా ఉమ్మడిగా పంచుకుంటూన్న నాలుగు ఎలక్ట్రానులతో సంతృప్తి చెందింది. ఈ రకం రసాయన

బంధాన్ని సహకార బంధం (covalent bond) అని కానీ సహసంయోజక బంధం అని కానీ అంటారు. ఈ రకం బంధం ఎప్పుడూ రెండు అలోహాల (nonmetals) మధ్య కనిపిస్తూ ఉంటుంది.

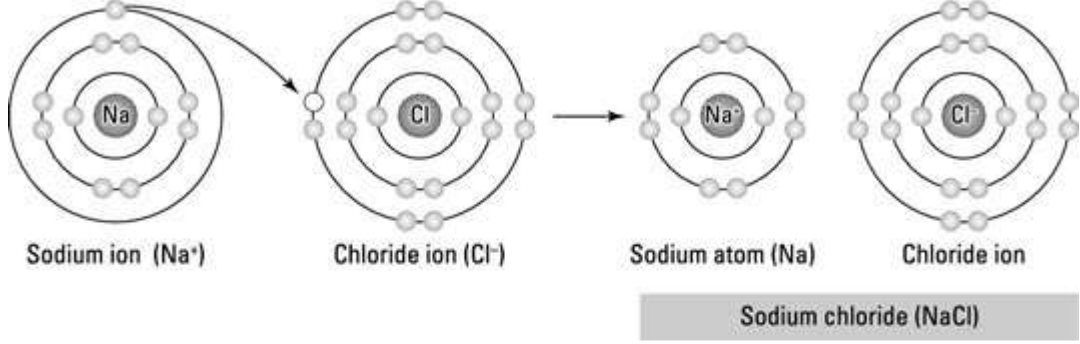


బొమ్మ 2. సహకార బంధం (covalent bond) కి మరొక ఉదాహరణ.

2 అయానిక్ బంధం (Ionic Bond)

ఈ రకం బంధం ఎప్పుడూ లోహం-అలోహాల (metal-nonmetals) మధ్య కనిపిస్తూ ఉంటుంది. ఈ బంధంలో లోహపు అణువు తన వద్ద ఉన్న ఒక ఎలక్ట్రానుని దానం చేసేస్తుంది. మొదట్లో తటస్థంగా ఉన్న అణువు నుండి ఒక ఋణావేశం ఉన్న ఎలక్ట్రాను వెళ్ళిపోయింది కనుక మిగిలిన అయాను మీద ధనావేశం ఉంటుంది. అలా దానం చెయ్యగా మిగిలిన అణువుని "ధన అయాను" అంటారు. ఈ బంధంలో అలోహపు అణువు దానం పుచ్చుకుంటుంది కనుక ఋణావేశం ఉన్న అయాను లేక "ఋణ

అయాను" అవుతుంది. విభిన్న ఆవేశాలు గల ఈ రెండు అయానులు పరస్పరం ఆకర్షించుకుంటాయి కనుక బంధం ఏర్పడుతుంది,



బొమ్మ 3. అయానిక్ బంధం (ionic bond) కి ఉదాహరణ.

ఈ ఆయానిక్ బంధం మూడు దశలలో ఏర్పడుతుందని మనం ఊహించుకోవచ్చు. ఒక మోలు సోడియం అణువులతో ప్రయోగం మొదలు పెడదాం.

మొదటి దశలో, వాయు రూపంలో ఉన్న మోలు సోడియం అణువులు ఒకొక్క ఎలక్ట్రానుని పోగొట్టుకుని అయానులుగా మారతాయి.



$$Na(g) \rightarrow Na^{+}(g) + e-$$

ఈ పని జరగడానికి మనం బయట నుండి $+494\,kJ$ శక్తిని సరఫరా చెయ్యాలి కనుక ఇది తాపచూషక అభిక్రియ (endothermic reaction). ఈ శక్తినే అయనీకరణ శక్తి (ionization energy) అంటారు.

రెండవ దశలో, ఇలా విడుదల అయిన ఎలక్ట్రానులని క్లోరీన్ అణువులు ఆబగా స్వీకరించి క్లోరీన్ అయానులుగా మారతాయి.



$Cl(g) + e- \rightarrow Cl^{-}(g)$

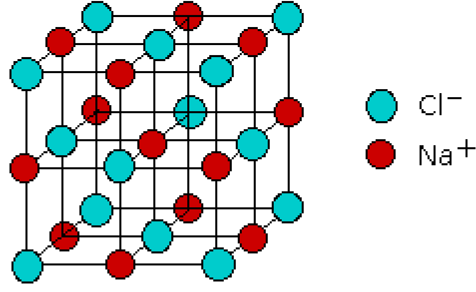
ఇలా ఎలక్ట్రానుల మధ్య దాయాదిత్వం (electron affinity) వల్ల $-368kJ$ శక్తి విడుదల అవుతుంది. ఇది తాపక్షేపక అభిక్రియ (exothermic reaction).

మూడవ దశలో సోడియం అయాను, క్లోరీన్ అయాను సంయోగం చెంది సోడియం క్లోరైడ్ ($NaCl$) అవుతుంది.



$Na^{+}(g) + Cl^{+}(g) \rightarrow NaCl(s)$

ఈ సందర్భంలో "జల్లి శక్తి" (lattice energy) ప్రక్రియ వల్ల $-498\,kJ$ శక్తి విడుదల అవుతుంది. ఇది కూడా తాపక్షేపక అభిక్రియే (exothermic reaction). ఈ మూడు దశలలో విడుదల అయిన శక్తులని బేరీజు వేసినప్పుడు నికరపు శక్తి $-372\,kJ$) ఋణాత్మకం కనుక ఈ అభిక్రియ వల్ల వేడి విడుదల అవుతుంది.



బొమ్మ 4. $NaCl$ స్పటికంలో అణువుల అమరిక.

ఇలా ఉమ్మడిగా తయారయిన బణువులో స్థిరత్వం ఉంటుందని లూయిస్ ప్రతిపాదించారు కాని స్థిరత్వం ఎలా వస్తుందో వివరించలేకపోయారు. నిజానికి $NaCl$ లో అణువులు బొమ్మలో చూపినట్లు అమరుతాయి. క్లోరీన్ అయానులు సోడియం అయానులు కంటే బాగా పెద్దవి. క్లోరీన్ అయానుల మధ్య ఉన్న ఖాళీలలో సోడియం అయానులు ఇమిడిపోగలవు. ఈ అమరికలో ప్రతి ఎలక్ట్రాను ప్రతి కేంద్రకానికి అత్యంత సమీపంలో ఉండగలుగుతుంది. అందువల్ల వాటి మధ్య అకర్షణ శక్తి అత్యధికం అవుతుంది. అదే $NaCl$ స్థిరత్వానికి కారణం.

రసాయన బంధం ప్రదర్శించే చైతన్యం సమగ్రంగా అర్థం కావాలంటే ష్రోడింగర్ తరంగ సమీకరణం ఉపయోగించాలి. కానీ అది 1926 వరకు రంగంలోకి దిగలేదు.

3. గది తపోగ్రత వద్ద ఉప్పు (సోడియం క్లోరైడ్) ఘనపదార్థంగా ఎందుకు ఉంటుంది?

సోడియం క్లోరైడ్ సాంఖ్య క్రమం (empirical formula): $NaCl$

సోడియంలో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

సోడియం లోహం (metal) కనుక చివరన ఉన్న $3s^1$ ఎలక్ట్రానుని దానం చెయ్యడానికి ఇష్టపడుతుంది. ఈ ప్రక్రియని ఈ దిగువ విధంగా రాయవచ్చు.



$$Na \rightarrow e^- + Na^+ \equiv [Ne]$$

దీని అర్థం ఏమిటంటే తటస్థంగా ఉన్న సోడియం Na ఒక ఎలక్ట్రానుని e^- దానం చెయ్యగా ఒక సోడియం అయాను $Na+$ మిగిలింది. ఈ మిగిలిన సోడియం అయానులోని ఎలక్ట్రాను విన్యాసం నియాను Ne ని పోలి ఉంటుంది.

దానం పుచ్చుకోడానికి తాహతు ఉన్న పదార్థం ఉంటేనే కదా దానం ఇవ్వడం జరిగేది. అలోహాలు (nonmetals) దానం పుచ్చుకోడానికి ఇష్టపడతాయి. ఇక్కడ అడిగిన ప్రశ్నకి అనుకూలంగా క్లోరీన్ వాయువుని గ్రహీత (acceptor) గా ఎంపిక చేసుకుందాం.

క్లోరీన్ లో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం: $[Ne]3s^2 3p^5$

ఎలక్ట్రాన్ గ్రహణం జరిగిన తరువాత



$$Cl + e^- \rightarrow Cl^- \equiv [Ar]$$

అనగా రసాయన ప్రక్రియ ఎలక్ట్రాన్ బదిలీ వల్ల జరుగుతోందన్నమాట.

ఇప్పుడు ఈ ప్రక్రియ ఎలా జరుగుతోందో లోతుగా పరిశీలిద్దాం. ధన విద్యుదావేశంతో ఉన్న సోడియం అయానులు, ఋణావేశంతో ఉన్న క్లోరీన్ అయానులు వాయువు రూపంలో విశృంఖలంగా తిరిగుతున్నాయనుకుందాం. వీటి ఆవేశాలు ఎదురెదురుగా ఉన్నాయి కనుక ఒకదానిని మరొకటి ఆకర్షించుకుంటాయి. అనగా, దగ్గరగా జరుగుతాయి. ఈ పరిస్థితిని ఒక క్రమ పద్ధతిలో విశ్లేషిద్దాం.

నిరూపక వ్యవస్థ యొక్క మూల బిందువు (at the origin of the coordinate system) దగ్గర ధనావేశంతో ఉన్న సోడియం అయాను ఉందనుకుందాం. ఈ అయానులు గోళీలలా, గుండ్రంగా, గట్టిగా ఉంటాయని అనుకుందాం. అనంతమైనంత దూరంలో ఋణావేశంతో ఉన్న క్లోరీన్ అయానుని పెట్టి, నెమ్మదిగా x-నిరూపకం మీద జరుపుకుంటూ వద్దాం. ఎదురెదురు ఆవేశాలతో ఉన్నాయి కనుక ఈ అయానులు ఒకదానిని మరొకటి కూలుంబ్ బలంతో ఆకర్షించుకుంటాయి. కూలుంబ్ సూత్రం ప్రకారం ఈ ఆకర్షణ శక్తి

$$E_{attr} = \frac{q_1\, q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$q_1 = q_{sodium} = z_+ e$$

$$q_2 = q_{chlorine} = z_- e$$

కానీ దూరం నుండి చూసినప్పుడు క్లోరీన్ అయానుకి సోడియం అయాను కేవలం $+e$ ఆవేశంతో ఉన్న ఒక బిందువులా కనిపిస్తుంది. సోడియం అయానుకి క్లోరీన్ అయాను $-e$ ఆవేశంతో ఉన్న ఒక బిందువులా కనిపిస్తుంది. కనుక వీటి మధ్య ఆకర్షక శక్తి

$$E_{attr} = \frac{(+e)(-e)}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

దీని విలువ $r \to \infty$ అయినప్పుడు దరిదాపు సున్నా దగ్గర ఉండి, r విలువ తగ్గుతూ ఉంటే E_{attr} విలువ ఋణ దిశలో అనంతంగా పెరిగిపోతుంది. (బొమ్మలో దిగువన ఉన్న ఎర్ర చుక్కల గీతని చూడండి.)

రెండు అయానులు దగ్గర అవుతున్న కొద్దీ లోపలి కవచాలలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుల మధ్య విక్షర్షణ బలం పెరిగి పైన చెప్పిన ఆకర్షణ బలాన్ని అటకాయిస్తుంది. ఈ పౌలి వికర్షణ విలువ

$$E_{rep} = \frac{b}{r^n}$$

పై సమీకరణంలో n ని బోర్ ఘాతాంకం (Bohr exponent) అంటారు. దీని విలువ $6 < n < 12$ ఉంటుంది. ఈ E_{rep} ని ఇందాకటి గ్రాపు కాగితం మీదనే చిత్రిస్తే $r = 0$ అయినప్పుడు $+\infty$ దగ్గర మొదలయి, క్రమేణా తగ్గుతూ $r \to \infty$ అయే వేళకి సున్నా దగ్గరకి చేరుకుంటుంది. (బొమ్మలో ఎగువ ఉన్న ఎర్ర చుక్కల గీతని చూడండి.)

ఇప్పుడు రెండు అయానుల మధ్య ఉన్న నికరపు శక్తి

$$E_{net} = E_{attr} + E_{rep}$$

దీని విలువని ఇందాకటి గ్రాపు కాగితం మీద చిత్రించడం తేలిక. ఆ గ్రాపు $+\infty$ దగ్గర మొదలయి, ఒక కనిష్ఠ స్థాయి చేరుకొని, మళ్లా ఎదగడం మొదలవుతుంది.

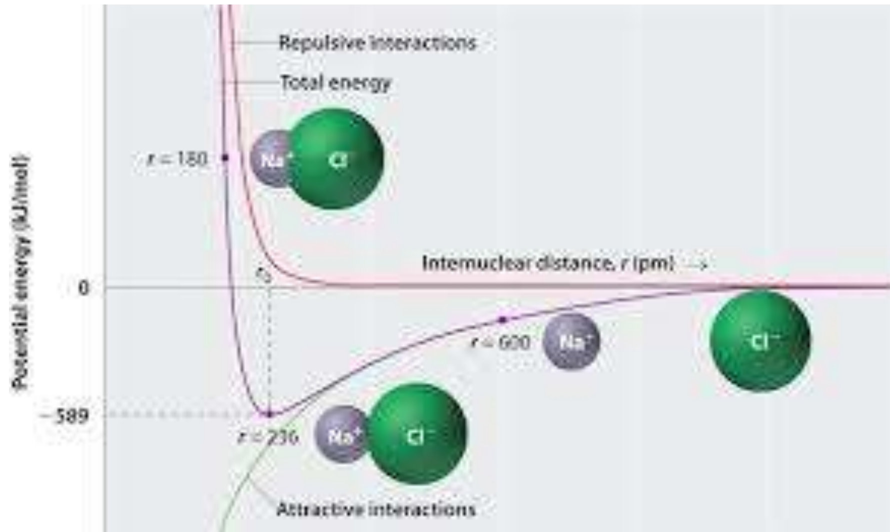
బొమ్మలో ఎర్రటి సాదా గీతని చూడండి. ఈ ఎర్ర గీత ఎక్కడ కనిష్ఠ స్థాయి చేరుకుంటుందో గణితపరంగా కూడా లెక్క కట్టవచ్చు. ఈ కనిష్ఠ స్థాయి $r = r_0$ దగ్గర అని అనుకుని

$$\frac{dE_{net}}{dr} = 0$$

అని రాసి, ఆలా వచ్చిన సమీకరణాన్ని పరిష్కరిస్తే b విలువ తెలుస్తుంది. అలా వచ్చిన విలువని E_{net} లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$E_{net} = \frac{(z_+)\,(z_-)}{4\pi\epsilon_0 r_0}(1 - \frac{1}{n}) = E_{r_0}$$

(విద్యార్థులు ఈ లెక్కని చేసి సరి చూడడం వారి కనీస బాధ్యత!) ఇది ఒకే ఒక అయానిక బంధంలో ఉన్న శక్తి; అనగా, ఒక క్లోరీన్ అయాను, ఒక సోడియం అయానుల మధ్య ఉండే శక్తి. ఇది కూలుంబ్ ఆకర్షక శక్తి నుండి ఎలక్ట్రానుల మధ్య ఉండే వికర్షక శక్తిని మినహాయించగా మిగిలిన శక్తి.



బొమ్మ 5. సోడియం క్లోరైడ్ లో ఉన్న స్థితిజ శక్తి

ఈ అయానిక బంధానికి ఉన్న ముఖ్య లక్షణాలు:

(1) అయానిక బంధం సర్వదిశాత్మకం (omnidirectional); ఇది అన్ని దిశలలోను ఒకే విధంగా వ్యాపించి ఉంటుంది.

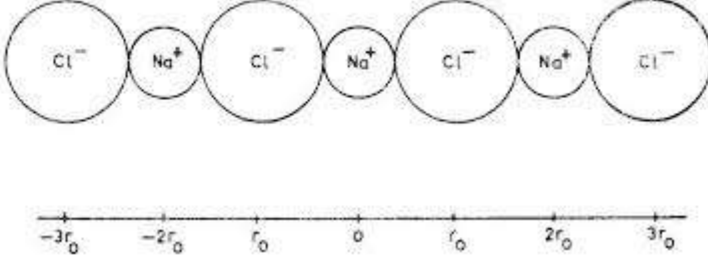
(2) అయానిక బంధం అసంతృప్తం (unsaturated); అనగా, అణువులకి ఉండే "బాహుబలం" అనే అవధి అయానులకి లేదు. అనగా, భౌతికమైన ఆటంకాలు లేనంత సేపూ ఒక అయాను మరెన్ని అయానులతోనైనా సంగమించవచ్చు. అనగా, అనంతమైనన్ని అయానులు బారులు తీరి ఉండవచ్చు. ఇటువంటి బారులు మూడు దిశలలో వ్యాపించి ఉన్నప్పుడు వాటిని స్పటికాలు (crystals) అంటారు.

ఉదాహరణకి ఒక మోలు వాయువులో క్లోరీన్ అయానులు, సోడియం అయానులు బాగా చెదిరిపోయి, విచ్చలవిడిగా తిరుగుతున్నాయని అనుకుందాం. "విచ్చలవిడిగా" అంటే అయానుల మధ్య దూరం చాల ఎక్కువ కనుక వాటి మధ్య ఆకర్షణ వికర్షణలు లేనట్లే భావించవచ్చు. కనుక ఈ మోలు వాయువులో ఇమిడి ఉన్న శక్తి

$$E_{ion\,gas} = N_{av}E(r_0)$$

ఇక్కడ N_{av} అనేది అవగాడ్రో సంఖ్య, $E(r_0)$ అనేది రెండు అయానుల మధ్య ఉన్న కనిష్ఠ నికరపు శక్తి.

ఇప్పుడు ఈ అయానులని విశృంఖలంగా వదిలెయ్యకుండా ఒక వరసలో, దిగువ చూపిన బొమ్మలో ఉన్నట్లు , అమర్చేమనుకుందాం. బొమ్మలో క్లోరీన్ అయానులు సోడియం అయానులు మధ్య దూరం $d = r_0$.



బొమ్మ 6. సోడియం క్లోరైడ్ అయానులు ఒక సరళరేఖ మీద ఉన్న నమూనా

ఈ వరసలో ఇటు, అటు వ్యాపించి N_{av} అయానులు (అనగా, దరిదాపు అనంతం) ఉన్నాయని అనుకుందాం. ఇప్పుడు భిన్న ధృవాలతో ఉన్న Na^+, Cl^- ల మధ్య ఆకర్షణ ఉంటుంది, Na^+, Na^+ ల మధ్య, Cl^-, Cl^- ల మధ్య వికర్షణ ఉంటుంది. వీటన్నిటిని కూడగట్టి మధ్య నుండి కుడి పక్కకి వెళ్ళినప్పుడు,

$$E_{Rline} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0(r_0)} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0(2r_0)} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0(3r_0)} + \dots$$

ఇదే రకం సమీకరణం మధ్య నుండి ఎడమ పక్కకి కూడా ఉంటుంది. ఈ రెండింటిని కలపగా

$$E_{line} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}(2(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots))$$

ఇక్కడ గమనించవలసిన విశేషం ఏమిటంటే కుండలీకరణాలకి బయట ఉన్నది కేవలం స్థిర విద్యుత్తు (electrostatics) కి సంబంధించినది అయితే కుండలీకరణాలకి లోపల ఉన్నది కేవలం అయానుల అమరిక (geometry) మీద ఆధార పడ్డది. ఇలా అయానుల అమరిక మీద ఆధారపడ్డ భాగాన్ని మేడలుంగ్ స్థిరాంకం (Madelung constant) $\mathbb{M}$ అంటారు.

ఇప్పుడు మేడలుంగ్ స్థిరాంకం విలువ ఎంతో చూద్దాం. గణితంతో పరిచయం ఉన్న వారికి ఈ దిగువ అనంత శ్రేణితో పరిచయం ఉండాలి:

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots$$

ఈ సమీకరణంలో $x = 1$ ప్రతిక్షేపిస్తే

$$\ln(2) = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots$$

వస్తుంది కదా. కనుక

$$\mathbb{M} = 2\ln 2 = 1.386$$

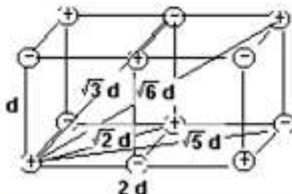
కనుక E_{line} ని ఈ దిగువ సమీకరణంగా రాయవచ్చు (విద్యార్థులు ఈ పని చేసి చూడాలి. అన్నీ అరటిపండు ఒలచినట్లు నేను చెప్పేస్తే ఎలా!)

$$E_{line} = -\frac{\mathbb{M} N_{av} e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}(1 - \frac{1}{n})$$

కనుక

$$E_{ion\,gas} = \frac{E_{line}}{\mathbb{M}}\ and\ \mathbb{M} > 1$$

అనగా, అయానులని వరసగా పేర్చినప్పుడు వాటి శక్తి అవి విచ్చలవిడిగా తిరుగుతున్నప్పుడు ఉండేశక్తి కంటే తక్కువ. కనుక అయానులు విచ్చలవిడిగా ఉండే కంటే ఒక వరసలో ఉండడానికి ఇష్టపడతాయి. ఇదే తర్కం, గణితం ఉపయోగించి అయానులు ఒక వరసలో ఉండే కంటే ఒక సమతలంలో ఉండడానికి ఇష్టపడతాయి. ఇదే తర్కం, గణితం ఉపయోగించి అయానులు ఒక సమతలంలో ఉండే కంటే ఒక ఘన రూపంలో ఉండడానికి ఇష్టపడతాయని లెక్క కట్టవచ్చు. ఈ సందర్భంలో $\mathbb{M} = 1.7476$ అవుతుంది.



బొమ్మ 7. ఘన రూపంలో అయానులు ఉన్నప్పుడు మేడలుంగ్ స్థిరాంకం లెక్కకట్టడం

కనుక సోడియం క్లోరైడ్ ఘన రూపంలోఉన్నప్పుడు కనిష్ఠ శక్తి స్థానంలో ఉంటుంది కనుక ఎక్కువ నిశ్చలత కలిగి ఉంటుంది. ఈ కారణం వల్లనే ఉప్పు (సోడియం క్లోరైడ్) ఘనరూపంలో ఉంటుంది!

21. క్రోడీక

ఇంతవరకు నేర్చుకున్న సమాచారాన్ని క్రోడీకరిద్దాం.

- పదార్థాల రసాయన లక్షణాలు సమగ్రంగా అర్థం కావాలంటే రసాయన బంధం అంటే ఏమిటో తెలియాలి. అందుకుగాను మూలకాల అణువులలో ఉన్న ఎలక్ట్రానుల విన్యాసాలు అర్థం కావాలి. ఆ అవగాహనతో రసాయన బంధం అంటే ఏమిటో అర్థం అవుతుంది.
- ఎలక్ట్రానుల విన్యాసాలు అర్థం కావాలంటే అణువుల నిర్మాణశిల్పం తెలియాలి. సాంప్రదాయిక భౌతికశాస్త్రం ఒనగూర్చిన పనిముట్లతో ఈ పని సాధ్యం కాదు; గుళిక వాదం ప్రవేశపెట్టిన విప్లవాత్మకమైన ఊహలు అత్యవసరం.
- గుళిక వాదానికి ప్రథమ సోపానం శక్తికి ఉన్న గుళిక స్వభావం: శక్తిని రేణువులుగా భావించాలి అని మేక్స్ ప్లేంక్ చేసిన ప్రతిపాదన.
- గుళిక వాదానికి ద్వితీయ సోపానం పదార్థపు రేణువులని కూడా తరంగాలుగా భావించవచ్చని డిబ్రోలి చేసిన ప్రతిపాదన.
- ఎలక్ట్రానులు కూడా పదార్థపు రేణువులే కనుక వాటిని తరంగాలుగా భావిస్తూ ఎర్విన్ ష్రోడింగర్ అణువుకి గుళిక వాదపు నమూనాని తయారు చేసేడు.
- ష్రోడింగర్ ప్రతిపాదించిన తరంగ సమీకరణాన్ని పరిష్కరిస్తే ఒక శ్రేణిలో అనేక తరంగప్రమేయాలు వస్తాయి. ఆ తరంగ ప్రమేయాలని ఆధారంగా చేసుకుని ప్రతి ఎలక్ట్రాను

కేంద్రకంతో ఎంత బలంగా బంధించబడి ఉందో లెక్క కట్టవచ్చు. లేదా ఎలక్ట్రానుని ఎంత సులభంగా అణువు నుండి విడగొట్టవచ్చో లెక్క కట్టవచ్చు. ఈ సమాచారాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని ఒక అణువు యొక్క రసాయన చైతన్యతని నిర్ధారించవచ్చు.

- ష్రోడింగర్ యొక్క తరంగప్రమేయాన్ని వర్గు చేస్తే వచ్చే విలువ ఎలక్ట్రాను ఫలానా ప్రదేశంలో కనిపించే సంభావ్యతని చెబుతుంది.
- ఈ సంభావ్యత ప్రకారం ఎలక్ట్రాను ఎక్కడైతే 90 శాతపు కాలం కనిపిస్తుందో ఆ ప్రదేశాన్ని విగతి (ఆర్బిటల్) అంటారు. రెండు అణువులు దగ్గరగా వచ్చినప్పుడు ఈ విగతులు ఒకదానితో మరొకటి పెనవేసుకొని ఉండడం వల్ల రసాయన బంధం ఏర్పడుతుంది.
- హైజెన్బర్గ్ అనిర్ధారిత సూత్రం ప్రకారం ఒక ఎలక్ట్రాను యొక్క వేగాన్ని (లేదా భారవేగాన్ని లేదా శక్తిని), దాని స్థానాన్ని – రెండింటిని ఒకే సారి – నిర్ధారించి చెప్పలేము. స్థానం నిర్ధారించి చెప్పగలిగితే, వేగం నిర్ధారించి చెప్పలేము.
- ఎలక్ట్రానికి "భ్రమణం" అనబడే సహజసిద్ధమైన లక్షణం ఉంది. ఇది ఊర్ధ్వ భ్రమణం అయినా అవాలి, లేదా అధో భ్రమణం అయినా అవాలి.
- ఒకే విగతిలో ఉన్న రెండు ఎలక్ట్రానులలో ఒకటి ఊర్ధ్వ భ్రమణంలో ఉంటే రెండవది అధో భ్రమణంలోఉండి తీరాలి.

- ఈ నియమాల సహాయంతో ప్రతి మూలకంలోని అణువులో ఎలక్ట్రాను విన్యాసాలు ఎలా ఉంటాయో లెక్కకట్టవచ్చు.
- ఎలక్ట్రాను అమరికల గురియించి సమాచారం తెలిసిన తరువాత రసాయన బంధం అంటే ఏమిటో సమగ్రంగా అర్ధం అవుతుంది. అప్పుడు వస్తువుల రసాయన లక్షణాలు అవగతం అవుతాయి.

22. కొలతలు, కొలమానాలు, లెక్కింపు పద్ధతులు

ఆధునిక శాస్త్రం జోడు గుర్రాల బండి లాంటిది. వీటిలో ఒక గుర్రం పేరు వాదం (theory), రెండవ గుర్రం పేరు ప్రయోగం (experiment). ప్రయోగం ద్వారా ఋజువు చెయ్యలేని వాదం వీగి పోతుంది. వాదం ఎప్పుడు, ఎక్కడ, ఎలా మొదలవుతుంది? ఒకరికి మెదడులో ఒక చిరు ఆలోచన పుడుతుంది. ఆ చిరు ఆలోచనలో కాసింత సత్యం ఉందేమోనన్న భావం బలపడితే దానిని ఇంగ్లీషులో థీసిస్ (thesis) అంటారు. కనుక థీసిస్ అంటే “గాఢమైన అభిప్రాయం” అని చెప్పుకోవచ్చు. ఇక్కడ నుండే హైపోథసిస్ (hypothesis) అనే ఇంగ్లీషు మాట పుట్టింది. ఇంగ్లీషులో వాడుకలో తారసపడే ఒక ప్రత్యయం “హైపో” (hypo) అంటే “అడుగున” అని కానీ (ఉదా. హైపోడెర్మిక్ అంటే చర్మం అడుగున), “తక్కువ స్థాయిలో ఉన్న” అని కానీ అర్థం. కనుక హైపోథసిస్ అంటే “పూర్తిగా బలపడని ఆలోచన.” ఇలా పూర్తిగా బలపడని ఆలోచనలు ఎప్పుడు బలపడి నిలదొక్కుకుంటాయి? ప్రయోగం ద్వారా ఋజువు చేసినప్పుడు!

ప్రయోగం ద్వారా ఋజువు చెయ్యడం అంటే? మా ఇంటి నుండి పెద్ద బజారుకి ఎంత దూరం ఉంటుంది? ఒకటిన్నర కిలోమీటర్లు దూరం ఉంటుందేమో! ఏమో ఏమిటి, కొలిచి చూస్తే పోలా? అలా కొలిచి చూడడమే ప్రయోగం అంటే! బియ్యపు బస్తా బరువు ఎంతుంటుంది? గట్టు మీద కూర్చుని మెట్టవేదాంతం చెప్పడమెందుకు? కొలిచి చూస్తే పోలే! ఈ కొలవడాన్ని ఇంగ్లీషులో measurement

అంటారు, అలా కొలువగా వచ్చిన విలువని కూడా measurement అనే అంటారు. దీనిని మనం తెలుగులో "కొలత" అంటాం. కనుక కొలవడం అంటే ఒక లక్షణానికి ఒక విలువ (value), ఒక మూర్తం (unit) ఇవ్వడం. కొలవడానికి ఒక కొలముట్టు (measuring tool) కావాలి. బరువుని కొలవడానికి త్రాసు, కాలాన్ని కొలవడానికి గడియారం, పొడుగుని కొలవడానికి గీట్ల బద్ద, వేడిని కొలవడానికి తాపమాపకం, వగైరాలు ఉన్నాయి. పొడుగుని కొలవడానికి మూర్తాలు (units) ఏమిటి? పొడుగుని (లేదా, దూరాన్ని) అంగుళాలలోను, గజాలలోను కొలవచ్చు లేదా మీటర్లలోను, కిలోమీటర్లలోనూ కొలవచ్చు.

నా చిన్నతనంలో "ఒక ఏబలం మెంతులు కొని పట్టుకురా" అని అమ్మ బజారుకి పంపింది. నాకు ఈ కొలమానం (measurement system) అర్థం కాక పదలం మెంతులు పట్టుకొచ్చి చివాట్లు తిన్నాను. (ఏబలం అంటే 5 పలాలు, పదలం అంటే 10 పలాలు!). ఆ రోజుల్లో తూర్పు గోదావరి, విశాఖ జిల్లాలలో బరువులు కొలవడానికి వీశ, పదలం, ఏబలం, పౌను, తులం, వగైరాలు వాడేవారు. నేను బందరులో ఇంటరు చదవడానికి వెళ్ళినప్పుడు అక్కడ అర్థ సేరు, సవాసేరు, నవటాకు, చటాకు, అంటూ నాకు అర్థం కాని కొలతలు వాడేవారు. ఇంజనీరింగు కాలేజీలో మెట్రిక్ పద్ధతి అంటూ గ్రాములు, సెంటీ మీటర్లు , అంటూ మరొక కొలమానం వాడేవారు.

1. ప్రాథమిక కొలమానాలు

ఇలా ఎవరికీ తోచిన విధంగా వారు కొలమానాలు వాడుతూ ఉంటే పని చెయ్యటం కష్టం. అందుకని, ఎప్పుడో 18 వ శతాబ్దంలోనే ఫ్రాంసులో "మెట్రిక్ పద్ధతి" ప్రవేశ పెట్టేరు. ఈ పద్ధతిలో పొడుగుని సెంటీమీటర్లలోను, గరిమ లేదా భారం (mass)ని గ్రాములలోను, కాలాన్ని సెకండ్లు లోను కొలవమని సిఫారసు చేసేరు. ఈ సందర్భంలో సెంటీమీటరు, గ్రాము, సెకండు అనేవి కొల మూర్తాలు (measuring units). ఉదాహరణకి, సాధారణ మెట్రిక్ పద్ధతిలో:

Physical Quantity	Name of Measuring Unit	Abbreviation
Length (పొడుగు)	Centimeter (సెంటిమీటరు)	cm
Mass (భారం)	Gram (గ్రాము)	g
Time (కాలం)	Second (సెకండు)	s

ఈ శాల్తీల విలువలు మరీ ఎక్కువగాను, లేక మరీ తక్కువగాను ఉండి సందర్భోచితంగా వాడుకకి అనుకూలంగా లేకపోతే పూర్వప్రత్యయాలు (prefixes) వాడమని సలహా ఇచ్చేరు.

ఈ పద్ధతి మన నిత్య జీవితంలో అవసరాలకి సరిపోయింది కానీ, శాస్త్రీయ, సాంకేతిక రంగాలలో కొన్ని కొలతలు మరీ పెద్దవి కానీ, మరీ చిన్నవి కానీ అవడం వల్ల మరికొన్ని మార్పులు అవసరం అయేయి. ఈ అవసరాలకి అనుగుణ్యమైన మార్పులతో పుట్టినదే యస్ ఐ పద్ధతి (SI లేదా Systeme Internationale) పద్ధతి. ఉదాహరణకి, SI మెట్రిక్ పద్ధతిలో:

Physical Quantity	Name of Unit	Abbre.
Length	Meter	m
Mass	Kilogram	kg
Temperature	Kelvin	K
Time	Second	s
Amount of Substance	Mole	mol
Electric Current	Ampere	I
Luminous Intensity	Candela	cd

ఇక్కడ (అనగా, SI పద్ధతిలో) జరిగిన మార్పులని కొంచెం అర్థం చేసుకుందాం. పొడుగుని కొలిచినప్పుడు సెంటీమీటర్లు కి బదులు మీటర్లు వాడమన్నారు. గరిమ లేదా భారం (mass) ని గ్రాములలో కాకుండా కిలోగ్రాములలో కొలవమన్నారు. అంతే కాదు "కిలో" ని సూచించడానికి చిన్నబడిలోని k మాత్రమే వాడాలని నిర్దేశించారు. SI జాబితాలో ఘనము లేదా ఉరువు (volume) లేదు; ఎందుకంటే మూడు పొడుగులు గుణిస్తే ఘనపరిమాణం వస్తుంది కనుక. కాలానికి "సెకండు" వాడమని నిర్దేశించారు. ఉష్ణోగ్రత ని కెల్విన్ లో కొలుస్తారు. ఇక్కడ కెల్విన్ తో "డిగ్రీలు" అన్న పదం వాడకూడదు. ఒక పోగులో ఎన్ని రేణువులు (అణువులు లేదా బణువులు) ఉన్నాయో లెక్కించడానికి "మోలు" వాడమని సలహా ఇచ్చేరు. అలాగే విద్యుత్తు (లేదా ఎలక్ట్రానుల) ప్రవాహాన్ని కొలవడానికి

ఎంపియరు (Ampere), కాంతి ఎంత ప్రకాశవంతంగా ఉందో కొలవడానికి మరొక కొలమానం ఇచ్చేరు.

ఈ జాబితాలో మనకి పరిచయం లేనివి మోలు, ఎంపియర్, కేండేలా. బియ్యాన్ని బస్తాలతో కొలిచినట్లు అణువులని కొలవడానికి "మోల్" అనే మూర్తం (unit) వాడతారు. దీని గురించి ఒక అధ్యాయం కేటాయించేను.

విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కావడానికి "ఏంపియరు" వాడమన్నారు. ఒక ఏంపియరు విలువ ఉన్న విద్యుత్తు ప్రవాహం (current) ఒక సెకండు సేపు ప్రవహిస్తే అందులో ఒక కూలుంబు ఛార్జి ఉందని అంటాము. అనగా,

ఛార్జి (కూలుంబులలో) = ప్రవాహం (ఎంపియర్లలో) x కాలం (సెకండ్లలో)

వెలుగుని కొలవడానికి వాడే కొలమానం అవసరం వచ్చినప్పుడు పరిశీలిద్దాం.

2. ఉత్పన్న కొలమానాలు (Derived Measuring Units)

శాస్త్రంలో తరచుగా తారసపడే అంశాలు ఈ కొలతలతో ఎలా ఉంటాయో మచ్చు చూపిస్తాను.

వైశాల్యం (area) కొలవడానికి వాడే మూర్తం పేరు చదరపు మీటర్లు.

వైశాల్యం (area) = పొడుగు (మీటర్లలో) x వెడల్పు (మీటర్లలో)

కనుక వైశాల్యం యొక్క మూర్తం “వర్గ మీటర్లు” లేదా “మీటర్ స్క్వేర్” అవుతుంది. దీనిని m^2 అని రాస్తారు. “మీటర్ స్క్వేర్” అని చదువుతారు.

వేగం (velocity) యొక్క మూర్తం “సెకండుకి ఇన్ని మీటర్లు.” దీనిని m/s అని కానీ $m.s^{-1}$ అని కానీ రాస్తారు. “మీటర్స్ పెర్ సెకండ్” (meters per second) అని చదువుతారు.

త్వరణం (acceleration) అనేది వేగం ఎంత జోరుగా మారుతున్నాదో చెబుతుంది కనుక దీని యొక్క మూర్తం “సెకండుకి ఇంత వేగం” అవాలి. అందుకని దీన్ని “సెకండుకి ఇన్ని (సెకండుకి ఇన్ని మీటర్లు)” అని రాస్తారు. దీనిని m/s^2 అని కానీ $m.s^{-2}$ అని కానీ కూడా రాస్తారు. “మీటర్స్ పెర్ సెకండ్ స్క్వేర్” (meters per second square) అని చదువుతారు.

బలం = భారం x త్వరణం (Force = mass x acceleration) కనుక దీనిని $kg.m./s^2$ అని రాస్తారు. కిలోగ్రామ్ మీటర్ పెర్ సెకండ్ స్క్వేర్ అని చదువుతారు. లేదా వర్గ సెకండుకి ఇన్ని

కిలోగ్రామ్ మీటర్లు . లేదా, కిలోగ్రామ్ మీటర్ విలోమ వర్గు సెకండ్లు అని చదవచ్చు. దీని యొక్క మూర్తం నూటన్ (Newton).

శక్తి (energy) అనేది ఎంత బలం ఎంత దూరం ప్రయోగించేమో కొలుస్తుంది. కనుక పైన చూపిన $kg.m./sec^2$ ని meters తో హెచ్చవేయాలి. అందుకని దీనిని $kg.m^2/s^2$ అని రాస్తారు, “కిలోగ్రామ్ మీటర్ స్క్వేర్ పెర్ సెకండ్ స్క్వేర్” అని చదువుతారు. (లేదా, వర్గు సెకండుకి ఇన్ని కిలోగ్రామ్ వర్గు మీటర్లు.) దీని కొలమూర్తం “జూల్.” కనుక 1 జూల్ = $1kg.m^2/s^2$. శక్తిని మరొక కోణం గుండా కూడా విశ్లేషించవచ్చు. అయిన్^స్టయిన్ సూత్రం $E = mc^2$ ప్రకారం, శక్తి = భారం (కిలోగ్రాములలో) x (కాంతి వేగం)^2 కనుక శక్తి కొలమూర్తం కిలోగ్రామ్ వర్గు మీటర్లు అవుతుంది.

తరచుదనం (frequency) యొక్క మూర్తం “సెకండుకి ఇన్ని ఆవర్తు లు” (cycles per second) లేదా ఇన్ని హెర్ట్జ (Hertz). కొలమూర్తం రాసేటప్పుడు హెర్ట్జ అని రాస్తే చాలు; పెర్ సెకండ్ అని రాయకపోయినా పరవా లేదు. 100 Hz = 100 cycles per second.

ఇవి అన్నీ సందర్భోచితంగా అర్థం చేసుకోవాలి తప్ప బట్టి పట్టి లాభం లేదు.

3. పూర్వప్రత్యయాలు

కొలిచిన విలువలు మరీ పెద్దవి కానీ, మరీ చిన్నవి కానీ అయితే పూర్వప్రత్యయాలు, వాడమని వాటి జాబితా ఒకటి ఇచ్చేరు. వీటిల్లో కొన్ని తెలుగు పాఠకులకి పరిచయం అయినవే. “మెగా స్టార్” లోని “మెగా” మిలియన్ (1,000,000)కి సంక్షిప్తం. కిలో 1000 కి సంక్షిప్తం. కిలోగ్రాము అంటే 1,000 గ్రాములు. అదే బాణీలో మైక్రో అంటే మిలియనో వంతు. మిల్లి అంటే వెయ్యో వంతు.

ఈ దిగువ పట్టికలో 10^2 అని రాసినప్పుడు 1 తరువాత రెండు సున్నాలు అని అర్థం కనుక $10^2 = 100$. ఇదే విధంగా $10^3 = 1,000$. ఇదే తర్కం ఉపయోగించి $10^{-2} = 1/100 = 0.01$. ఇదే విధంగా $10^{-3} = 1/1,000$. అక్కడక్కడ 10^2 ని $1e2$ అని కూడా రాస్తూ ఉంటారు.

Prefix	Symbol	Decimal Value	Power of Ten
Tera–	T	1,000,000,000,000	10^{12}
Giga–	G	1,000,000,000	10^{9}
Mega–	M	1,000,000	10^{6}
Kilo–	k	1,000	10^{3}

Hecto–	h	100	10^{2}
Deka–	da	10	10^{1}
(no prefix)		1	10^{0}
Deci–	d	0.1	10^{-1}
Centi–	c	0.01	10^{-2}
Milli–	m	0.001	10^{-3}
Micro–	µ	0.000001	10^{-6}
Nano–	n	0.000000001	10^{-9}
Pico–	p	0.000000000001	10^{-12}
Femto–	f	0000000000000001	10^{-15}

ఈ ప్రత్యయాల వాడుక ఎలా ఉంటుందో చూపిస్తాను.

- 1 cm = 1 centimeter = 1e–2 = 1×10^{-2} meter = 0.01 meter
- 1 kg = 1 kilogram = 1e3 = 1×10^{3} gram = 1000 grams
- 1 µL= 1 microliter = 1e–6 = 1×10^{-6} liter = 0.000001 liter

- 1 ns = 1 nanosecond = 1e−9 = 1×10^{-9} second
- 1 kWh = 1 kilowatt−hour = 1e3 = 1×10^{3} Watt−hours
- 1 Food calorie = 1 Cal = 1 kilocalorie = 1e3 = 1×10^{3} calories

4. SI పద్ధతి కాని కొలమానాలు

అప్పుడప్పుడు SI పద్ధతి కాని కొలమానాలు వాడకం సదుపాయంగా ఉంటుంది.

- 1 Ångstrom = 1 Å = 1×10^{-10} meter
- 1 electron volt = $1eV = 1.602 \times 10^{-19} joules$ = 1.602×10^{-19} joules

కంప్యూటర్ రంగంలో వచ్చే 1 MB = 1 Megabyte = 1×10^{6} bytes అని నిర్లక్ష్యంగా రాస్తారు కానీ అది తప్పు. నిక్కచ్చిగా చెప్పాలంటే 1 kB = 1 kilobyte = 1024 bytes, 1 MB = 1 Megabyte = 1024 x 1024 = 1,048,576 bytes

మొన్న మొన్నటి వరకూ ఇంతింత పెద్ద సంఖ్యలు, ఇంతింత చిన్న సంఖ్యలు వాడ వలసిన అవసరం ఉండేది కాదు కనుక పేచీ లేక పోయింది. ఇప్పుడు సైన్సు ఏ మాత్రం చదువుకున్నా పెద్ద పెద్ద సంఖ్యలు, చిన్న చిన్న సంఖ్యలు ఎక్కువ తారసపడుతూ ఉంటాయి.

23. మెదడుకి మేత: జవాబులు

1. సాధారణ తాపోగ్రత, పీడనం (normal temperature and pressure) దగ్గర ఆదర్శ వాయువు ఉరువు (volume) ఎంత ఉంటుంది?

జవాబు

ఆదర్శ వాయువు సూత్రం ప్రకారం:

$$PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{1mol}{1atm}\frac{0.08206Latm}{molK}\frac{273K}{1} = 22.4L$$

ఇక్కడ R = 0.08206 L atm $mol^{-1}K^{-1}$ వాడడం జరిగింది.

2. సాధారణ తాపోగ్రత, పీడనం (nomal temperature and pressure) దగ్గర ఆదర్శ వాయువులో అణువుల మధ్య సగటు దూరం ఎంత ఉంటుందో అంచనా వెయ్యాలి.

జవాబు

ఆదర్శ వాయువులో అణువుల మధ్య సగటు దూరం = a సెంటీమీటరు అనుకుందాం. కనుక a^3 ఘన సెంటీమీటరు ప్రదేశంలో ఒక అణువు ఉంటుందని మనం అంచనా వెయ్యవచ్చు. (ఇది ఎలా సమర్ధనీయమో ఘనచతురస్రం బొమ్మ గీసి, ఆ బొమ్మలో ప్రతి మూలని ఒక అణువు ఉంటుందని అనుకుని లెక్క చూసుకోండి.)

ఒక గ్రాము వాయువులో N (అవగాడ్రో సంఖ్య) అణువులు ఉంటాయి.

ఒక గ్రాము వాయువు ఉరువు = 22.4 లీటర్లు = $22,400\,cm^3$

$$a^3 \times 6.023 \times 10^{23} = 22,400\,cm^3$$
$$a = (\frac{22,400}{6.023} \times 10^{23})^{1/3} = 33.7\,angstroms$$

ఈ వాయువు ఉదజని వాయువు అయిన పక్షంలో, ఉదజని అణువు వ్యాసం ఉరమరగా 1 ఏంగ్^ష్ట్రం ఉంటుంది కనుక రెండు అణువుల మధ్య దూరం 33.7 ఏంగ్^ష్ట్రంలు ఉండడం సబబుగానే ఉంది.

3. యురేనియం లోహాన్ని తయారు చెయ్యడానికి యురేనియం టెట్రా ఫ్లోరైడ్ (UF_4) ని మెగ్నీసియం (Mg) తో కలిపిన తొట్టిని బట్టీలో పెట్టి 700 K డిగ్రీల వరకు వేడి చేస్తారు. ఈ రసాయన ప్రక్రియ పూర్తి అయిన తరువాత యురేనియం, మెగ్నీసియం ఫ్లోరైడ్ (MgF_2) అనేవి తొట్టిలో మిగులుతాయి. అభిక్రియ మధ్యస్థంగా ఆగిపోకుండా కడితేరా జరగడానికి గాను కనీస అవసరాని కంటే 10 శాతం ఎక్కువ మెగ్నీసియంని వాడతారు. అభిక్రియ పూర్తి అయిన తరువాత 222 కిలోగ్రాముల యురేనియం కావాలనుకుంటే ఎంత మెగ్నీసియం కావలసి ఉంటుంది? సమాధానం కిలోగ్రాములలో రాయండి.

జవాబు:

ముందు అభిక్రియని నాటు రసాయన సమీకరణం రూపంలో రాద్దాం.



$$UF_4 + Mg \rightarrow U + MgF_2$$

ఈ సమీకరణంలో తుల్యత లోపించింది. ముందు తుల్యత సాధిద్దాం.

ముందు	తరువాత
U 1	U 1
F 4	F 2
Mg 1	Mg 1

కనుక కుడి పక్క రెండు పాళ్లు MgF_2 ఉండాలి. అప్పుడు ఎడం పక్క రెండు పాళ్లు Mg ఉండాలి. ఈ సవరింపు చేసిన తరువాత



$UF_4 + 2Mg \rightarrow U + 2MgF_2$ (gives mole ratios)

ఇప్పుడు మోలుల పాళ్లు రెండు పక్కల సరిపోయాయి.

మనకి 222 kg of U కావాలి. ఆవర్తన పట్టికని సంప్రదించి చూస్తే యురేనియం మోలార్ భారం = 238 g/mole అని తెలుస్తోంది. కనుక, మనకి కావలసిన యురేనియం మోల్ కొలమానంలో –

$$222\,kg\,U \frac{1000\,gr/kg}{1\,moles/238\,g} = 933\,mols\,U$$

సమీకరణం ప్రకారం UF_4 ఎన్ని పాళ్లల్లో ఉందో U కూడా అన్నే పాళ్లల్లో ఉంది కనుక

కావలసిన $UF_4 = 933\,mols + 10\,\% = 933 + 0.1(933) = 1026$ moles

కానీ జవాబు కిలోగ్రాములలో అడిగేరు. కనుక 1026 మోలుల UF_4 ని కిలోగ్రాములలోకి మార్చాలి. ఈ పని చెయ్యడానికి UF_4 మోలార్ భారం ఎంతో తెలియాలి. యురేనియం మోలార్ భారం ఇదివరలో

ఆవర్తన పట్టిక నుండి సంగ్రహించేం. అదే ఆవర్తన పట్టిక నుండి ఫ్లోరీన్ మోలార్ భారం 19 అని గ్రహించి,

UF_4 మోలార్ భారం = 238 g/m of U + 4(19 g/m of F) = 314 g/mol

ఇప్పుడు కావలసిన

$$UF_4 = 1026\, moles\, of UF_4 \times \frac{(314\, g)}{(mol)} \times \frac{(1\, kg)}{(1000\, g)} = 322\, kg\, of\, UF_4$$

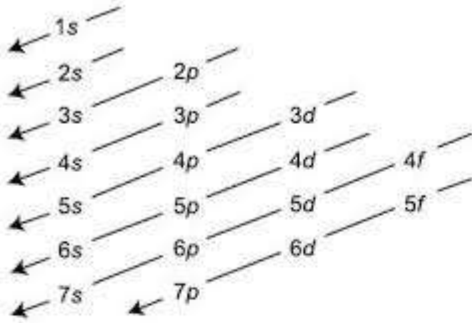
4. Ca^{2-}, Mg^{4+} అయానులలోని ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాలు (బొమ్మ 5, బొమ్మ 7 పద్ధతిలో) బొమ్మ గీసి చూపించాలి.

జవాబు

ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాలు అంటే విగతులలో ఎలక్ట్రానుల అమరిక. ముందు ఎన్ని ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయో చూద్దాం.

Ca^{2-}. ఆవర్తన పట్టికని బట్టి తటస్థంగా ఉన్న కేల్సియం అణువులో 20 ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయని తెలుస్తోంది. ఇక్కడ మనకి కావలసినది Ca^{2-} అయాను; అనగా, ఈ అయానులో రెండు ఎక్కువ ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయి. కనుక కేల్సియం అయానులో 22 ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయి. ఈ 22 ఎలక్ట్రానులని విగతులకి కేటాయించాలి. ఈ కేటాయింపుకి రెండు పద్ధతులు ఉన్నాయి.

మొదటి పద్ధతి. మొదటి నియమం. అట్టడుగు శక్తి స్థానం నుండి మొదలు పెట్టి పైకి నింపుకుంటూ రావాలి. ఈ నియమం చెప్పడం తేలికే కానీ చెయ్యడం కష్టం. ఎందుకంటే శక్తి స్థానాలఆరోహణ క్రమం ఏమిటి? ఇది గుర్తు పెట్టుకోడానికి ఒక మార్గం ఉంది. మనకి s, p, d, f అనే విగతులు ఉన్నాయి కదా. s విలువ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 కావచ్చు. p విలువ s = 2 దగ్గర మొదలయి 2, 3, 4, 5, 6, 7 కావచ్చు. d విలువ s = p = 3 దగ్గర మొదలయి 3, 4, 5, 6, 7 కావచ్చు. f విలువ s = p = d = 4 దగ్గర మొదలయి 4, 5, 6, 7 కావచ్చు. ఈ సమాచారాన్ని ఈ దిగువ చూపిన వ్యూహంలా అమర్చుదాం. ఈ వ్యూహాన్ని బాణం గుర్తులు చూపిన వరుస క్రమంలో చదివితే 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d,..... వస్తాయి కదా. ఇప్పుడు ఎలక్ట్రానులని ఈ క్రమంలో నింపుకుంటూ పోవాలి.



ఇప్పుడు మన దగ్గర ఉన్న 22 ఎలక్ట్రానులని విగతులలో నింపుదాం. ఈ నింపడం కూడా రెండవ నియమం పాటిస్తూ నింపుదాం. ఏమిటా రెండవ నియమం?

రెండవ నియమం. పౌలి సూత్రం ప్రకారం ఏ రెండు ఎలక్ట్రానులు ఒకే గుళిక సంఖ్యల సమాహారంతో ఉండకూడదు. దీని పర్యవసానం ఏమిటంటే ఏ ఒక్క విగతిలోనైనా సరే కేవలం రెండు ఎలక్ట్రానులు మాత్రమే పడతాయి; ఆ రెండూ కూడా ఎడ ముఖం, పెడ ముఖం భ్రమణాలతో ఉండాలి.

1s : 2 (↑↓) 2

2s: 2 (↑↓); 2p: 6 (↑↓) (↑↓) (↑↓) 10

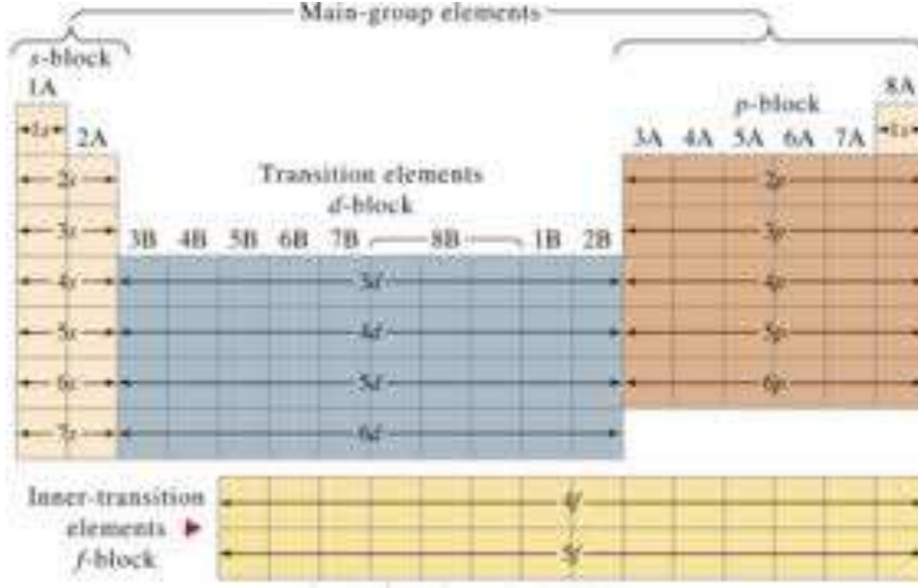
3s: 2 (↑↓); 3p: 6 (↑↓) (↑↓) (↑↓) 18

4s: 2 (↑↓); 3d: 2 (↑) (↑) ( ) ( ) ( ) 22

మూడవ నియమం (హండ్ నియమం, Hund's Rule): వీలయినప్పుడల్లా విగతులలో ఉన్న ఎలక్ట్రానులు జంటలుగా కాకుండా ఒంటరిగా ఉండేటట్లు చూడాలి. ఉదాహరణకి పై బొమ్మలో నాలుగవ వరుసలో 3d శక్తి స్థానంలో అయిదు ఖాళీ విగతులు ఉన్నాయి. మన దగ్గర మిగిలిన రెండు ఎలక్ట్రానులని మొదటి విగతిలో వేసేసి మిగిలిన నాలుగు విగతులని ఖాళీగా వదిలెయ్యవచ్చా? హండ్ నియమం ప్రకారం, ముందు ప్రతి విగతిని ఒకొక్క ఎలక్ట్రానుతో నింపి, అటు తరువాత, అవసరం వెంబడి రెండవ ఎలక్ట్రానుతో నింపాలి. ఇక్కడ ఒంటరిగా ఉన్న ఎలక్ట్రానులు రెండూ ఊర్ధ్వ భ్రమణం కలిగి ఉండాలి, లేదా రెండూ అధో భ్రమణం కలిగి ఉండాలి.

రెండవ పద్ధతి. ఈ పద్ధతిలో ఆవర్తన పట్టికని ఆశ్రయించాలి. స్థూలంగా ఆవర్తన పట్టికలో నాలుగు భాగాలు ఉన్నాయి. బొమ్మలో వీటిని s-block, p-block, d-block, f-block అని గుర్తిస్తారు. మనకి కావలసిన మూలకం ఏ బ్లాక్ లో ఉందో నిశ్చయించుకోవాలి. మన కేల్సియం 4 వ ఆవర్తు , 2 వ కుటుంబంలో ఉంది. అనగా s-బ్లాక్ లో ఉంది. మూడవ ఆవర్తు , చిట్టచివరి కుటుంబంలో ఆర్గాన్ (Ar) ఉంది కనుక తటస్థంగా ఉన్న కేల్సియం ఎలక్ట్రాన్ విన్యాసాన్ని టూకీగా $[Ar]4s^2$ రాయవచ్చు.

ప్రశ్నలో అడిగినది Ca^{2-} విన్యాసం కనుక మరొక రెండు ఎలక్ట్రానులని అదనంగా జత చెయ్యాలి. ఇవి $4s^2$ తరువాత వచ్చే $3d$ లో ఉన్న 5 విగతులలో పడాలి.



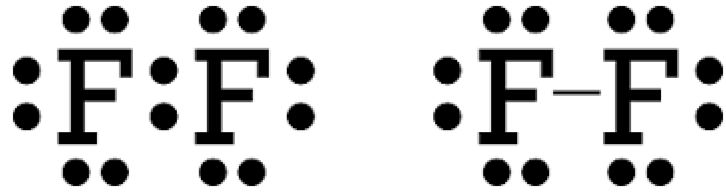
ఇదే విధంగా Mg^{4+} లోని విన్యాసం కనుక్కోవచ్చు. అది విద్యార్థులకి అభ్యాసంగా వదలి పెడుతున్నాను.

5. అష్టాంశ నిశ్చలత (octet stability) అంటే ఏమిటి?

జవాబు:

చాల అణువులు, బణువులు తమతమ బాలపు కోశం (valence shell) నిండుగా, అనగా ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులతో నిండి, ఉండాలని కోరుకుంటూ ఉంటాయి. బణువులు స్థిర నిశ్చలతతో ఉండాలంటే ఆ బణువులో ఉన్న అణువులు అన్నిటిలోను వాటివాటి బాలపు కోశాలు నిండుగా ఉండాలని కోరుకుంటూ ఉంటాయి. ఉదాహరణకి ఫ్లోరీను బణువు (F_2) లో ఉన్న ఎలక్ట్రానుల విన్యాసాన్ని లూయిస్ చుక్కల

పద్ధతిలో చూద్దాం. ఈ దిగువ బొమ్మలో ఒకొక్క ఫ్లోరీను అణువు చుట్టూ ఎనిమిది ఎలక్ట్రానులు ఉన్నాయి. వీటిలో రెండు ఉమ్మడి ఎలక్ట్రానులు; ఈ రెండూ బంధపు ఎలక్ట్రానులు (bonding electrons), మిగిలిన ఆరూ నిర్బంధపు ఎలక్ట్రానులు (non-binding electrons). ఉదజని విషయంలో ఈ రకపు వివరణకి మినహాయింపు ఇవ్వాలి.



బొమ్మ. ఫ్లోరీన్ బణువులో లూయిస్ చుక్కల పద్ధతిలో ఎలక్ట్రానుల విన్యాసం.

24. సాంకేతిక పదాలకి అర్థాలు

అచేతన వాయువులు = inert gases

అడ్డు గుణకారం = cross-multiplication

అణువు = atom

అణు భారం = atomic mass

అణు శక్తి = atomic Energy

అణు సంఖ్య = atomic number

అతూ్యద = ultraviolet

అతూ్యద వినిపాతం = ultraviolet catastrophe

అనిర్ధారిత సూత్రం = Principle of Uncertainty

అనిశ్చితత్వ సూత్రం = Principle of Uncertainty

అనుపాత స్థిరాంకం = constant of proportionality

అపకేంద్ర బలం = centrifugal force

అయనీకరణ = ionization

అయస్కాంత గుళిక సంఖ్య = magnetic quantum number

అరుస = row (అడ్డు వరుస)

అలోహాలు = non–metals

అవధి = limit

అవిచ్ఛిన్న వర్ణమాల = continuous spectrum

అష్టక సూత్రం = Law of Octets

అష్టాంశ నియమం = octet rule

ఆత్మగత దృక్పథం = subjective viewpoint

ఆదర్శ వాయువు = ideal gas, perfect gas

ఆవర్తన పట్టిక = Periodic Table

ఆవర్తు = period

ఆవేశం = charge

ఇంద్రధనుస్సు = rainbow

ఉత్తేజిత శక్తి స్థానాలు = excited states

ఉదజని = Hydrogen, H

ఉద్గారణ = emission

ఉద్గారణ వర్ణమాల = emission spectrum

ఉప–కోశం = sub–shell

ఉరువు = volume, capacity

ఋణావేశం = negative charge

ఎలక్ట్రాను గతులు = electron orbits

ఏకాంతర = alternate

ఒంటాట = Solitaire

కరిగే స్థానం = melting point

కర్రి కాయ = black body

కర్రి బిలం = black hole

కుటుంబం = family; a column in the Periodic Table

కూలుంబ్ విద్యుత్-స్థితి శక్తి = Coulomb electrostatic energy

కేంద్రం = center; center of a circle

కేంద్రకం = atomic nucleus

కోణీయ భారవేగం = angular momentum

కోణీయ వేగం = angular velocity

కోశాలు = shells

క్రోడిక, summary

క్షార లోహాలు = alkali metals; elements in the first column of the Periodic Table; lithium (Li), sodium (Na), potassium (K), rubidium(Rb), caesium (Cs), and francium (Fr);

క్షారమృత్తిక లోహాలు = alkali earth metals; elements in the second column (family) of the Periodic Table; beryllium (Be), magnesium (Mg), calcium (Ca), strontium (Sr), barium (Ba), and radium (Ra);

గణాంకాలు = statistics

గతి = orbit; a path of movement

గతిజ శక్తి = kinetic energy

గది = room; cell

గది తాపోగ్రత = room temperature = 300 K

గరిమ = mass

గ్రహ గతులు = planetary orbits

గుంపు = group

గురుత్వాకర్షణ బలం = gravitational force

గుళిక = quantum

గుళిక గెంతు = quantum jump

గుళిక రసాయనం = Quantum Chemistry

గుళిక వాదం = Quantum Theory

గుళిక విప్లవం = quantum revolution

ఘటక ద్రవ్యాలు = ingredients

జోక్యపు చారలు = interference bands

జోరు = speed

తంతువు = filament

తరంగ దైర్ఘ్యం = wavelength

తరంగప్రమేయం = wavefunction

తరంగ సమీకరణం = wave equation

తరచుదనం = frequency

త్వరణం = acceleration

తాపచూషక = endothermic

తాపక్షేపక = exothermi

తాపోగ్రత = temperature

తేజాణువు = photon

తేజోవిద్యుత్ ప్రభావం = photoelectric effect

తేజోవిద్యుత్ ప్రవాహం = photoelectric current

దాయాదిత్వం = affinity

దిగంశ గుళిక సంఖ్య = azimuthal quantum number

దిశ = direction

దీప్తి = brightness

దృగ్విషయం = phenomenon

దృశ్య కాంతి = visible light

నిర్మాణతత్త్వం = constitution

నిర్మాణశిల్పం = structure; structural formula;

నిరుస = column in a table

నిలకడ తరంగం = standing wave

నిష్ణాతులు = experts

న్యూటనిక యంత్రశాస్త్రం = Newtonian mechanics

నూనె చుక్కల ప్రయోగం = oil drop experiment

పట్టకం = prism

పదార్థం = matter

పదార్థ తరంగాలు = matter waves

పరమాణువు = subatomic particle (like electron, proton, neutron)

పరారుణ = infrared

పరిమాణం = size

పరిక్షేపం = scattering

ప్రభావం = effect

ప్రయోగాలు = experiments

ప్రయోగాత్మక = experimental

పాదరసం = mercury, Hg

పీడనం = pressure

పౌలి నిషిద్ధ సూత్రం = Pauli exclusion principle

బట్టబయటి గతి = outermost orbit

బణు భారం = molecular mass or molecular weight

బణువు = molecule

బలం = force

బాలం = valency

బాలపు కోశం = valence shell

బాలపు ఎలక్ట్రానులు = valence electrons

బాహ్య కోశం = outer shell

బాహుబలం = valency

బృహత్ బణువు = mega–molecule

బేసి ఆవర్తు లు = odd periods

భ్రమణం = spin

భ్రమణ కోణీయ భారవేగం = spin angular momentum

భారవేగం = momentum; mass x velocity

మరిగే స్థానం = boiling point

మసకత = opacity

యశదం = zinc, Zn

రవిజని = helium, He

రసాయన అభిక్రియ = chemical reaction

రసాయన ప్రతిక్రియ = chemical reaction

రసాయన బంధం = chemical bond

రేణువు = particle

రోకలిబండ = centipede

లవజనులు = halogens

లోహాలు = metals

వర్ణమాల = spectrum

వర్ణమాలా దర్శని = spectroscope

వస్తుగత దృక్పథం = objective viewpoint

వ్యక్తీకరణం = expression

వాదం = theory

వికిరణం = radiation

వికీర్ణం = radiation

వికీర్ణ ఒత్తిడి = radiation pressure

విగతి = orbital

విగతి కోణీయ భారవేగం = orbital angular momentum

విగతి గుళిక సంఖ్య = orbital quantum number

విద్యుత్ నిక్షేపణం = electrodeposition

విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు = electromagnetic waves

విద్యుదయస్కాంత వికీర్ణము = electromagnetic radiation

విశృంఖలమైన = unbounded; free

వ్యూహం = array

వెండి = silver, Ag

వేగం = velocity

శక్తి = energy

శక్తి స్థానం = energy level

శాస్త్రీయ పద్ధతి = scientific method

శిలాజని = lithium, Li

సంప్రదాయిక విద్యుదయస్కాంత వాదం = classical electromagnetic theory

సంభావ్యత = probability

సంభావ్య తరంగాలు = probability waves

సంభావ్యత యొక్క సాంద్రత = probability density

సరి ఆవర్తు లు = even periods

సహకార బంధం = covalent bond

సహసంయోజక బంధం = covalent bond

స్పటికం = crystal

సాంద్రత = density

సాపేక్ష వాదం = Relativity Theory

సాపేక్ష బణు భారం = relative molecular mass

సాధారణ సాపేక్ష వాదం = General Theory of Relativity

స్థానం = position

సీసం = lead, Pb

స్థితిజ శక్తి = potential energy

స్థిర నిశ్చలత = stable equilibrium

స్థిర విద్యుత్ బలం = static electric force

స్థిరాంకం = constant

స్ఫురణ ప్రయోగం = thought experiment

సైద్ధాంతిక = theoretical

25. వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు తెలుగు పుస్తకాలు

1. English-Telugu & Telugu-English Dictionary & Thesaurus, Asian Educational Services, New Delhi, 2002. ఈ నిఘంటువుని తెలుగు వికీపీడియాలో ఉచితంగా కూడ సంప్రదించవచ్చు. https://te.wikipedia.org/wiki/
2. జీవరహాశ్యం, ప్రతులు అలభ్యం
3. రసగంధాయ రసాయనం, ప్రతులు అలభ్యం
4. కించిత్ భోగో భవిష్యతి, (వైజ్ఞానిక కథలు), కినిగె
5. అమెరికా అనుభవాలు, ఎమెస్కో
6. అలనాటి అమెరికా అనుభవాలు, కినిగె
7. జీవనది: రక్తం కథ, కినిగె.
8. నిత్యజీవితంలో రసాయనశాస్త్రం, కినిగె.
9. విశ్వస్వరూపం, కినిగె.
10. ప్రాణి ఎలా పుట్టింది?, కినిగె.
11. మహాయానం, (వైజ్ఞానిక కల్పనలు), కినిగె.
12. తెలుగులో కొత్త మాటలు, కినిగె
13. రామానుజన్ నుండి ఇటూ అటూ, కినిగె, ఉచితం
14. ఫెర్మా చివరి సిద్ధాంతం, కినిగె, ఉచితం
15. చుక్కల్లో చంద్రుడు: చంద్రశేఖర్ చరిత్ర, కినిగె, ఉచితం

వేమూరి వేంకటేశ్వరరావు జీవిత సంగ్రహం

భారతదేశంలో తుని, మచిలీపట్నం, కాకినాడలలో విద్యాభ్యాసం. ఉన్నత విద్యకి 1961 లో అమెరికా ప్రయాణం. ప్రస్తుతం యూనివర్సిటీ ఆఫ్ కేలిఫోర్నియా, డేవిస్ కేంద్రంలో విశ్రాంత ఆచార్యులు. నివాసం ప్లెజంటన్, కేలిఫోర్నియాలో. సైన్సు విషయాల మీద విశేషంగా తెలుగులో రాసేరు. యూనివర్సిటీ ఆఫ్ కేలిఫోర్నియా, బర్క్లి కేంద్రంలో తెలుగు పీఠం స్థాపించడానికి 2006 నుండి అవిరామంగా పాటుపడుతున్నారు. శాశ్వత నిధి 2017 నాటికి $500,000 చేరుకుంది.